Comitato di Redazione
Editorial Board

Giulio Ballio
Giovanni Azzone
Adriana Baglioni
Maurizio Boriani
Michele Gasparetto
Carlo Ghezzi
Roberto Negrini
Mauro Santomauro
Giancarlo Spinelli
Cesare Stevan

Direttore responsabile
Editor in chief
Maria Licia Zuzzaro

Progetto grafico
Graphic Project
Sit.com

Impaginazione
Graphics and Layout
Marco Tiberini

Stampa
Print
Up. point S.r.l.
via Mangiagalli, 18
20133 Milano

Milano, Aprile 2004

Registrata presso
il Tribunale di Milano
con il n° 813 del 13.11.1987

Tutti i diritti riservati
al Politecnico di Milano
Politecnico di Milano
All rights reserved

Indice

Contents

4 Beni Culturali e Politecnico di Milano
Cultural Heritage and the Politecnico di Milano

6 Statuto del CCVBC - CCVCH Regulations

8 Stefano Della Torre
L'innovazione di processo nella conservazione del patrimonio architettonico: sperimentazioni su Palazzo Te in Mantova e altri casi studio
Process Innovation in preservation of Built Cultural Heritage: tests on Palazzo Te in Mantua and other study cases

12 Luca Bertolini, Matteo Gastaldi, Pietro Pedeferri
Ispezione e diagnosi della corrosione delle armature nel calcestruzzo: l'ex Istituto Marchiondi a Milano
Inspection and diagnosis of corrosion of steel reinforcement in concrete: the former Institute Marchiondi in Milan

22 Alberto Zasso, Giulio Mirabella Roberti, Roberto Corradi, Roberta Tongini Folli
Caratterizzazione della risposta statica e dinamica di architetture storiche: la campagna di misure sul Torrazzo di Cremona
Characterisation of static and dynamic response of historic buildings: experimental investigation and monitoring of the Torrazzo in Cremona (Italy)

28 Christian Campanella, Susanna Bortolotto
Metodi di datazione dell'edilizia storica: il Palazzo Baronale del Castello di Avio (TN)
Methods for Dating Epoch Buildings: Baronale Palace at Avio's Castle (TN)

38 Maurizio Acito, Alberto Franchi, Antonio Migliacci
Procedura numerico-sperimentale della fase di riallineamento delle travi dell'impalcato del 26° piano del grattacielo Pirelli a Milano
Experimental Numerical procedure used in the realignment of the deck beams of the 26th floor of the Pirelli skyscraper in Milan

50 Luigia Binda, Giulia Baronio, Giuliana Cardani, Antonella Saisi, Cristina Tedeschi, Claudia Tiraboschi
Indagini in situ e in laboratorio sui materiali e sulle strutture della Cattedrale di Noto
On site and laboratory investigation on the remainings of the Cathedral of Noto

58 Maurizio Boriani, Francesco Augelli
Le ispezioni e le indagini per il recupero dei solai lignei dell'ex-monastero di S. Michele a Lonate Pozzolo (Va)
Inspection and analysis for the restoration of the timber soffit at the former monastery dedicated to St. Michael at Lonate Pozzolo (Va)

66 Chiara Colombo, Lucia Toniolo, Valerio Di Battista, Paolo Gasparoli
Valutazione sperimentale dell'efficacia di metodi di pulitura su materiali lapidei
Experimental evaluation of the efficacy of cleaning methods for stone materials

72
Carlo Monti, Raffaella Brumana, Luigi Fregonese, Cristiana Achille, Francesco Fassi, Federico Prandi, Giada Monti, Carlo Savi
Ortofoto digitale 3D a scala naturale del pavimento musivo della Basilica di San Marco a Venezia
Full-scale digitale 3D orthophotos of the mosaic floor in the St.Mark's Basilica in Venice

78
Alessandro Facchini, Carlo Enrico Bottani
Caratterizzazione e processo di restauro di pergamene antiche
Characterisation and Conservative Restoring Process of Ancient Parchments

84
Carlo Mapelli, Walter Nicodemi, Roberto Venturini
Studio dei fenomeni di degrado di canne in lega metallica appartenenti ad organi musicali italiani di diverse epoche
Study of the deterioration of metal alloy organ pipes from different periods in Italy

90
Alessandra Cesana, Mario Terrani
Applicazioni dell'Analisi per Attivazione Neutronica in Archeologia
Archaeological Application of Neutron Activation Analysis

94
Rinaldo Cubeddu, Daniela Comelli, Gianluca Valentini, Lucia Toniolo, Chiara Colombo, Antonio Sansonetti
La fluorescenza per immagini risolta in tempo per l'analisi di Beni Culturali
Fluorescence Lifetime Imaging for the analysis of works of art

100
Antonio Longoni, Carlo Fiorini, Chiara Guazzoni
Spettrometri XRF per analisi non distruttive nello studio e conservazione dei Beni Culturali
XRF Spectrometers for non-destructive analyses in Cultural Heritage study and conservation

106
Erica Mannucci, Giuseppe Zerbi
Tecniche innovative per lo studio di materiali nei Beni Culturali: spettroscopie infrarosse e Raman
Innovative techniques in the study of materials in the Cultural Heritage: infrared and Raman spectroscopy

114
Massimo Valentini, Riccardo Negrotti
L'attività di diagnostica del Fi.T.Be.C. presso il Battistero della Collegiata di Castiglione Olona e il Convento dell'Annunciata di Abbiategrasso
Diagnostic activity of Fi.T.Be.C. laboratory: the Baptistery of the Collegiata of Castiglione Olona and the Convent of the Annunciata of Abbiategrasso

120
Paolo Ciuccarelli
Il design come patrimonio culturale e documentale: strumenti e metodi per la valorizzazione
Design as a Cultural and Documentary Heritage: Management Tools and Methods

128
Corrado Maria Crisciani, Marco Gaiani, Perla Innocenti
Dal Palladio analogico al Palladio digitale: una metodologia progettuale
From analog to digital Palladio: a project methodology

138
Francesco Amigoni, Viola Schiaffonati
L'intelligenza artificiale per l'allestimento automatico dei musei
Artificial Intelligence for Automatic Museum Organization

144
Paolo Paolini, Nicoletta Di Blas, Caterina Poggi
E-Learning e accessibilità per il patrimonio culturale
E-Learning and Accessibility for Cultural Heritage

150
Laboratori dell'Area Beni Culturali
Cultural Heritage Research Laboratories

166
Roberto Bugini, Chiara Colombo, Marco Realini, Antonio Sansonetti, Lucia Toniolo
La ricerca CNR per la conservazione del patrimonio culturale al Politecnico: dal Centro Gino Bozza alla sezione di Milano dell'ICVBC
The research of CNR in the field of conservation of Cultural Heritage at Politecnico: from the research Centre Gino Bozza to the Milan section of the ICVCH

170
Mauro Cucarzi, Patrizia Zolese
La Fondazione Lerici: Presentazione e Storia
The Lerici Foundation: Presentation and History

Beni Culturali
e Politecnico di Milano

I Beni Culturali costituiscono una risorsa strategica non solo per lo sviluppo sociale ed economico ma anche per il miglioramento della qualità della vita di un Paese.
Se si accoglie per essi la definizione di "testimonianza materiale avente valore di civiltà", si comprende facilmente come il patrimonio storico ereditato dal passato sia inestricabilmente legato al contesto territoriale su cui esso insiste.
Questo vale in particolare per l'Italia, dove le vicende naturali e degli uomini hanno lasciato tracce plurimillenarie inscindibilmente stratificate e largamente diffuse.
Le problematiche della tutela, conservazione e valorizzazione di queste risorse coinvolgono un ampio spettro di discipline e di tecniche, alcune specifiche, altre mutuate da altri settori di ricerca: sono infatti coinvolti i problemi della conoscenza (storica e materiale), della diagnostica, del monitoraggio dei fenomeni e le tecniche di conservazione , ma anche i più generali temi della pianificazione territoriale e paesistica, della programmazione economica degli interventi, della diffusione e divulgazione delle conoscenze e della valorizzazione.
Si può sostenere a buon diritto che quella dei Beni Culturali è materia politecnica per eccellenza e che quindi il nostro ateneo possiede le conoscenze, le strumentazioni e le relazioni interdisciplinari necessarie.
Questa pubblicazione intende rendere conto di alcune delle molte attività di ricerca e di progetto che si sono svolte negli ultimi anni al Politecnico di Milano e mettere in evidenza le potenzialità che le esperienze svolte, insieme alle molte altre che non si è potuto illustrare per mere ragioni di spazio, se coordinate e finalizzate a specifici obbiettivi, offrono per fare dei Beni Culturali un settore di ricerca strategico per la nostra università.
Proprio perseguendo questo obbiettivo si è recentemente promosso il Centro per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali, una struttura di servizio e di coordinamento tra le diverse attività e competenze presenti nell'ateneo, il cui scopo è illustrato in dettaglio dallo Statuto che è pubblicato nel presente numero, insieme ad alcune brevi schede che illustrano le attività istituzionali dei numerosi laboratori strumentali che al Politecnico, specificamente o settorialmente, operano nel campo della conoscenza, conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale.

Maurizio Boriani

Cultural Heritage
and the Politecnico di Milano

Cultural Heritage is a strategic resource favouring not only social and economic development, but also enhancing the quality of life of a country.
From the standard definition of Cultural Heritage as "material evidence of relevance to civilization", it is easy to understand that an historic heritage bequeathed to us by the past is inextricably tied up with the territorial context to which it belongs. This is especially true of Italy, where natural conditions and human activities have left traces going back thousands of years that are inseparably stratified and widely distributed.
The problem of protecting, conserving, and valorizing these resources involves a wide range of disciplines and techniques, some of them specific, and others conditioned by different areas of research: thus, the problems of knowing (both historically and materially), diagnostics, the monitoring of phenomena and conservation techniques are involved, but so too are the more general subjects of territorial planning and landscaping, the economic planning of the work done, and the distribution and propagation of the knowledge acquired and the valorization achieved.
It may be justifiably maintained that Cultural Heritage is the Polytechnic discipline par excellence, and that our University thus possesses the requisite knowledge, the tools, and the interdisciplinary relationships.
The purpose of this magazine is to draw attention to some of the many research and planning activities conducted in recent years at the Politecnico di Milano, and to highlight the potentialities that the experiments carried out, together with many others that we have been unable to describe for mere lack of space, co-ordinated and linked with specific aims, offer, thus making Cultural Heritage a strategic area of research for our University.
In pursuit of this objective, we have recently been promoting the Centre for the Conservation and Valorization of Cultural Heritage, an ancillary structure co-ordinating the various activities and skills present at the University, the purposes of which are described in detail by the Regulations published in this magazine, together with some short information sheets illustrating the institutional activities of the many technical laboratories that the Politecnico, at a specific or departmental level, has organized with regard to the knowledge, conservation, and valorization of our Cultural Heritage.

Maurizio Boriani

Centro per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali

Art. 1.
Generalità
Il Centro per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali (CCVBC) è una Struttura di Supporto istituita al fine di promuovere le attività dell'Ateneo nell'ambito della Conservazione dei Beni Culturali verso Enti e Istituzioni esterne. Il Centro assicura la valorizzazione e il coordinamento delle competenze presenti in tale ambito presso le Facoltà, i Dipartimenti e i Poli regionali (Sedi Territoriali).

Art. 2.
Attività
Nell'ambito della Conservazione dei Beni Culturali, il Centro:
- censisce e aggiorna l'albo delle competenze presenti in Ateneo;
- promuove il coordinamento e l'integrazione dei gruppi di ricerca afferenti a diversi settori disciplinari al fine di valorizzare il complesso delle competenze interdisciplinari utili per la valorizzazione e conservazione del patrimonio artistico;
- promuove le competenze dell'Ateneo nel settore e ne favorisce la valorizzazione;
- rappresenta l'Ateneo nei confronti di Enti e Istituzioni esterne per progetti di ricerca e formazione non proposti dai singoli Dipartimenti o Facoltà;
- coordina l'attività di ricerca o formazione relativa a tali progetti.

Art. 3.
Il CCVBC ha durata triennale. Il CCVBC potrà essere rinnovato previa presentazione di richiesta corredata da una relazione sull'attività svolta e dal programma dell'attività futura. La richiesta di rinnovo deve essere presentata al Rettore, almeno tre mesi prima della scadenza, affinché possa essere valutata dagli organi competenti.

Art. 4.
Il CCVBC può istituire Unità Funzionali con specifici compiti.

Art. 5.
Sono Organi del CCVBC:
- il Consiglio Scientifico;
- il Presidente del Consiglio Scientifico.

Art. 6.
Il Consiglio Scientifico è composto da un massimo di 9 docenti, nominati per un triennio dal Rettore, sentiti il Consiglio di Amministrazione e il Senato Accademico, con possibilità di conferma. Uno dei membri è il Coordinatore del Collegio dei Direttori o un suo delegato
Il Consiglio Scientifico:
- definisce e programma le attività e provvede all'individuazione delle risorse necessarie al funzionamento del Centro;
- Approva l'organizzazione interna, la stipula di contratti e convenzioni nell'ambito del Regolamento per l'Amministrazione, la Finanza e la Contabilità, formula il piano di sviluppo pluriennale, la richiesta annuale di dotazione da sottoporre al Consiglio di amministrazione e ogni altra richiesta di contributi straordinari.
Approva inoltre il piano di attività annuale, il conto preventivo e il conto consuntivo del Centro.

Art. 7.
Il Presidente del Consiglio Scientifico è un professore del Politecnico nominato dal Rettore per un triennio tra i membri del Consiglio, su proposta del Consiglio stesso. Egli convoca il Consiglio Scientifico ogni qualvolta lo ritenga necessario e stabilisce l'ordine del giorno delle sedute. In particolare:
- vigila sul corretto funzionamento del Centro secondo le linee fissate dal Consiglio Scientifico e le indicazioni date, per quanto di loro competenza, dal Senato Accademico e dal Consiglio di amministrazione e ne riferisce ai predetti organi;
- sottopone il piano annuale di attività, il conto preventivo e il conto consuntivo;
- propone al Consiglio le richieste di autorizzazioni di spesa e le richieste per l'indizione di gare per l'acquisizione di beni e servizi al Rettore o al Consiglio di amministrazione a norma degli articoli di cui al vigente Regolamento per l'Amministrazione, la Finanza e la Contabilità.
Il Presidente ha inoltre la responsabilità gestionale e amministrativa del Centro nell'ambito dei limiti di spesa fissati dal Regolamento per l'Amministrazione, la Finanza e la Contabilità.
Le suddette funzioni potranno essere attribuite a un eventuale Responsabile operativo, nominato su proposta del Consiglio Scientifico, dal Rettore ovvero dal Direttore Amministrativo in relazione alla qualifica dello stesso.
Il Presidente, designa un professore di ruolo che lo sostituisce in caso di assenza o impedimento e lo comunica al Rettore per la nomina.

Art. 8.
Il CCVBC ha autonomia finanziaria e di spesa che esercita secondo le norme previste dal Regolamento per l'amministrazione, la finanza e la contabilità.

Art. 9.
Il CCVBC può disporre di un fondo di dotazione annualmente assegnato dal Consiglio di Amministrazione, nonché di proventi derivanti dalle prestazioni fornite per conto di organi e strutture dell'Ateneo, regolate dal tariffario per l'utenza di Ateneo. Inoltre il CCVBC può disporre di contributi per l'attività di supporto al servizio, nonché, salvo il pieno adempimento delle attività istituzionali, di proventi derivanti da prestazioni o servizi per l'utenza esterna nei settori di sua specifica competenza, secondo quanto indicato dal Regolamento per l'amministrazione, la finanza e la contabilità. Può, inoltre, disporre di elargizioni fatte da enti, da industrie o da privati e di fondi derivanti da specifici contratti.

Art. 10.
Il CCVBC dispone di spazi presso una sede del Politecnico di Milano.

Art. 11.
Il CCVBC può disporre di personale proprio. Per la copertura delle funzioni possono essere attivate anche forme di outsourcing, in base alle disposizioni vigenti.

Art. 12.
Per quanto non definito o previsto dal presente regolamento, si applicano le norme stabilite dallo Statuto del Politecnico di Milano, dai Regolamenti ivi previsti, nonché le norme generali e compatibili.

Composizione Consiglio Scientifico CCVBC

Giovanni Azzone
Luigia Binda
Maurizio Boriani - Presidente
Carlo Enrico Bottani
Flaviano Celaschi
Rinaldo Cubeddu
Claudio Molinari
Paolo Paolini
Pietro Pedeferri
Ornella Selvafolta

Centre for the Conservation and Valorization of Cultural Heritage

Art. 1.
General
The Centre for the Conservation and Valorization of Cultural Heritage (CCVCH) is a supporting structure set up to promote the activities of the University in the area of the Conservation of Cultural Heritage vis-à-vis external bodies and institutions.
The Centre ensures the valorization and co-ordination of the skills present in this field within the Faculties, Departments, and Regional Branches of the Politecnico di Milano.

Art. 2.
Activities
Within the area of the Conservation of Cultural Heritage, the Centre:
- Keeps and updates the record listing the experts present at the University;
- Promotes the coordination and integration of the research groups operating in the different disciplines for the purpose of valorizing the overall situation of the interdisciplinary skills serving to valorize and conserve the artistic heritage;
- Promotes the skills of the University and facilitates their valorization;
- Represents the University vis-à-vis external bodies and institutions in respect of research projects and training not proposed by individual Departments or Faculties;
- Coordinates research activities for training relating to such projects.

Art. 3.
The CCVCH has a three-year term. The CCVCH may be renewed upon submitting the appropriate request accompanied by a report on past activities and a program for the future. The request for renewal should be presented to the Rector at least three months before expiry, so that it may be examined by the competent bodies.

Art. 4.
The CCVCH may institute Functional Units with specific tasks.

Art. 5.
The following are governing bodies of the CCVCH:
- The Research Council;
- The Chairman of the Research Council.

Art. 6.
The Research Council consists of a maximum of 9 lecturers, appointed for a three-year period by the Rector, the latter having consulted the Board of Directors and the University Senate, which may give their confirmation. One of the members shall be the Co-ordinator of the College of Directors or a person delegated by it.
The Research Council:
- Defines and programmes the activities and takes steps to identify the resources required for the functioning of the Centre;
- Approves the internal organization, the signing of contracts and agreements within the framework of the Administrative, Financial, and Accounting Regulations, drawing up the plan of pluriennial research, the annual request for equipment to be submitted to the Board of Directors, and any other request for exceptional contributions.
Moreover, it approves the annual plan of activities, the budget, and the annual accounts of the Centre.

Art. 7.
The Chairman of the Research Council shall be a Professor of the Politecnico appointed by the Rector for a three-year period from among the members of the Council upon proposal by the Council itself. He shall convene the Research Council whenever he deems it necessary, and shall lay down the agenda of sessions. In particular:
- He shall supervise the correct functioning of the Centre along the lines laid down by the Research Council and the information supplied with regard to their competence by the University Senate and the Board of Directors and shall report back to the accounts;
- He shall submit to the Council requests for the authorization of expenses and for the call for tenders for the purchase of goods and services from the Rector or Board of Directors in accordance with the articles referred to in the Administrative, Financial, and Accounting Regulations currently in force.
The Chairman shall also be responsible for managing and administering the Centre within the limits of the expenses laid down by the Administrative, Financial, and Accounting Regulations.
The above functions may be assigned to another Executive, appointed at the suggestion of the Research Council, of the Rector, or the Administrative Director, depending on his qualifications.
The Chairman shall appoint a full professor to replace him in the event of his absence or inability to exercise his functions, and shall inform the Rector for him to confirm the appointment.

Art. 8.
The CCVCH shall be independent financially and as regards the expenses it incurs in accordance with the rules laid down by the Administrative, Financial, and Accounting Regulations.

Art. 9.
The CCVCH may have at its disposal an annual equipment fund allocated by the Board of Directors, as well as income from the services performed on behalf of the University's bodies and structures, and governed by the list of fees payable for the use of the University. In addition, the CCVCH may avail itself of contributions towards activities in support of services, as well as, provided institutional activities have been fully performed, income from professional fees or services for external users in the areas of its specific competence, as specified in the Administrative, Financial, and Accounting Regulations.
Moreover, it may receive grants made by outside bodies, manufacturing companies, or private persons, or funds from specific contracts.

Art. 10.
The CCVCH shall have its own premises in one of the buildings of the Politecnico di Milano.

Art. 11.
The CCVCH may have its own staff. To provide coverage for its functions, it may also engage in forms of outsourcing, in accordance with current regulations.

Art. 12.
Anything not defined or laid down in these Regulations shall be governed by the rules of the Articles of Association of the Politecnico di Milano, by the regulations laid down therein, and by any general and compatible laws.

CCVCH Research Council

Giovanni Azzone
Luigia Binda
Maurizio Boriani - Chairman
Carlo Enrico Bottani
Flaviano Celaschi
Rinaldo Cubeddu
Claudio Molinari
Paolo Paolini
Pietro Pedeferri
Ornella Selvafolta

Stefano Della Torre

L'innovazione di processo nella conservazione del patrimonio architettonico: sperimentazioni su Palazzo Te in Mantova e altri casi studio

Process Innovation in preservation of Built Cultural Heritage: tests on Palazzo Te in Mantua and other study cases

Nel 1999 il Politecnico di Milano divenne partner della Regione Lombardia in una serie di ricerche sulla manutenzione degli edifici storici, nel contesto del Polo regionale della Carta del Rischio del Patrimonio Culturale. I programmi di queste ricerche erano costruiti sull'idea che prevenire sia meglio che curare, e che una manutenzione sistematica sia necessaria per la conservazione degli edifici storici. Le ricerche sono state dedicate agli edifici notificati, pur nella consapevolezza che questo è riduttivo nei confronti della totalità del patrimonio costruito. Ma gli edifici *vincolati* sono la parte più delicata e preziosa dell'ambiente costruito, così che essi possono costituire un campione ideale.
Questa delimitazione dà anche una più chiara finalità alla ricerca, in quanto fa chiarezza, rispetto al campo di applicazione, su alcuni aspetti d'ordine legale e finanziario, che sono fondamentali per l'innovazione del processo.
L'idea di instaurare la cultura della prevenzione è condivisa da numerosi centri di ricerca in Europa, così che la nostra attività è entrata in rete con partner olandesi, svedesi, inglesi, belgi, portoghesi...
La peculiarità della tradizione e della situazione italiana ha reso necessario un approccio più attento alla discussione dei risvolti teorici, ma i risultati attesi da parte della Regione Lombardia erano d'ordine del tutto pratico: la messa a punto di nuovi

In 1999 Politecnico di Milano became partner of Regione Lombardia in some researches about maintenance of historic buildings, inside the policy of establishing a Risk Map of Cultural Heritage in the region. All the research programmes were predicated on the idea that prevention is better then cure, and systematic maintenance is necessary to the conservation of historic buildings. The researches were focused on listed buildings, although it is acknowledged that this is a narrow definition of the built cultural heritage. But listed buildings are the most challenging and precious part of the built environment, so that they can represent an ideal sample. This delimitation also gives a focus to the research, as it clarifies some legal and financial issues, which are fundamental to implementation of the new process.
The idea of making prevention happen is shared by a number of research centres in Europe, so that our own activity came into a network with partners from Holland, Sweden, England, Belgium, Portugal... The peculiar Italian tradition and state-of-the-art made necessary a more theoretical approach, but the outputs required by Regione Lombardia were quite practical: new tools useful to implementation of preventative and planned conservation of built cultural heritage, so that restoration works could be delayed, with evident advantages both in economic and cultural field. Quite obviously, the new tools might work soon, in the framework of given social, legal and economic conditions.
Thereby, a lot of issues had to be investigated in order to create the best tools for a new strategy involving techniques and management, economics and communication.
A theoretical construction allows for different ways to implement preventative conservation, but the analysis of the context, including evaluation of economics and of people's feelings about the subject, led to choose as a starting point the public sector, where new laws made maintenance plans compulsory whenever a new public work take place, i.e. also the restoration of a listed building.
Our research pointed out a need for guidelines capable to lead technicians to write plans sensible to the specificity of historic buildings, assuming all their complexity, making the maintenance plan a system to gather data and manage information.
A new proposal is to make one thing of the maintenance plan and the *scientific balance* of a restora-

strumenti utili per implementare la conservazione preventiva e programmata del patrimonio architettonico, così da dilazionare i restauri, con evidenti vantaggi sia di ordine economico che culturale. Ovviamente, i nuovi strumenti dovevano essere subito applicabili, nel contesto delle reali condizioni sociali, legislative ed economiche.
Pertanto è stato necessario investigare molti settori per definire i migliori strumenti per una strategia che riguarda sia le tecniche operative che la gestione, i risvolti economici e la comunicazione. Se in teoria sono possibili diversi percorsi per instaurare il processo innovativo, l'analisi del contesto, tenendo conto anche dei fattori economici e della mentalità degli operatori, ha portato a scegliere come punto di partenza il settore pubblico, dove nuove leggi hanno reso obbligatoria la redazione del piano di manutenzione ogni qual volta si esegue un'opera pubblica, cioè anche quando si restaura un edificio vincolato.
La nostra ricerca segnalò la necessità di linee guida capaci di condurre i tecnici alla redazione di piani di manutenzione attenti alla specificità degli edifici storici, assumendone tutta la complessità, facendo del piano un sistema capace di raccogliere i dati e di gestire le informazioni. Una proposta innovativa è quella di fare una cosa sola di due adempimenti di legge, il piano di manutenzione e il consuntivo scientifico del restauro: in realtà, il modo migliore per registrare le acquisizioni e i problemi incontrati in un restauro è quello di organizzare un sistema informativo utile per conservare l'edificio negli anni successivi.
Il nocciolo delle linee guida pubblicate dalla Regione Lombardia riguarda il percorso logico suggerito per arrivare a definire i controlli e le azioni preventive, incrociando, per ciascun elemento tecnologico, problemi di conservazione e problemi di prestazione. Inoltre c'era molto lavoro da fare sui criteri per scegliere le tecniche della diagnostica di controllo, ottimizzando l'accuratezza e i costi.
La mentalità corrente non è incline ad anticipare spese per la prevenzione, perciò i piani di conservazione devono poter prevedere i costi più bassi, ma questo non significa la rinuncia a tecniche avanzate e innovative: la conservazione programmata può anzi giustificare tutte le nuove ricerche che puntano a metodi di acquisizione a distanza, ripetibili, operanti per scansione e non per prelievo di campioni. Questa è una corrente dell'attuale ricerca di metodi diagnostici applicabili alle opere d'arte. La doman-

1.
Mantova, Palazzo Te, Sala di Psiche. La termografia evidenzia il riscaldamento non omogeneo dell'ambiente derivante dal fan coil.
Il calore si accumula nella volta appesa in legno, causando delle dilatazioni differenziali tra le varie tavole. La zona deve essere considerata a rischio, sia per effetto degli sbalzi termici che per i depositi superficiali

Mantua, Palazzo Te, Sala di Psiche. IRT shows non-homogeneous heating.
Heat accumulates on the wooden vault, producing different strains among the planks. This must be pointed out as a risk zone, for thermal jumps and also for surface deposals

tion work. It is not only a proposal of simplifying the duties of the architect: in the matter of fact, the best way of recording achievements and problems of a restoration is to organize a system useful to maintain the building in the following years.
The bulk of the guidelines published by Regione Lombardia concerns the suggested way to state controls and *preventive works*, matching, with respect to each element of the building, problems of conservation and problems of performance.
Then, there is a lot of work to do in order to give some criterion to choose control techniques, balan-

da si sta spostando dai metodi utili ad acquisire dati una sola volta ai metodi capaci di ripetere l'esperimento per misurare variazioni e tendenze, e dalle strumentazioni fisse (da laboratorio) a quelle portatili. Pertanto è stato raccolto un prezziario dei metodi diagnostici.
D'altra parte il lavoro di compilare piani soddisfacenti si rivelò così pesante e scoraggiante che ben presto si decise di scrivere un software studiato espressamente per aiutare i tecnici nella stesura, anche con qualche aiuto, che fornisce informazioni, definizioni, confronti di casi di guasto e così via.
Il programma fu chiamato SIRCoP (Sistema Informativo Regionale per la Conservazione Programmata), e attualmente la Regione Lombardia ha finanziato la sua ingegnerizzazione, per poter passare ad una fase di sperimentazione su più larga scala.
Gran parte della nostra ricerca è stata condotta direttamente sul campo, compilando piani per la conservazione preventiva di diversi monumenti, da semplici chiesette di campagna a edifici complessi come il Palazzo Te di Mantova. Era necessario sperimentare tempi e difficoltà nella stesura dei piani, cioè nel riconoscere materiali e pratiche costruttive, nel raccogliere dati sui precedenti restauri, nell'organizzare i dati per arrivare a ragionevoli conclusioni sulle problematiche presenti nell'edificio, sui tempi di ispezione, sulle necessarie riparazioni.
I test dovevano riguardare condizioni differenti, e coinvolgere gli interessati, per restituire risposte fondate.
Il caso di Palazzo Te è stato il più interessante, a causa della rilevanza dei lavori di restauro eseguiti nell'ultimo decennio, per l'avanzato sistema di monitoraggio ambientale e per il sistema di gestione della manutenzione già attivo, rientrando l'edificio nel contratto di global service riguardante tutti gli edifici appartenenti al Comune di Mantova.
L'occasione è stata preziosa per imparare lezioni sulla conoscenza e sulla gestione: il nostro strumento è stato migliorato per aggregare dati che potrebbero sembrare squisitamente eruditi, ma sono fondamentali in un monumento come questo, mentre alcuni limiti sono stati constatati nelle funzioni dedicate al calendario delle ispezioni e attività.
Inoltre si è studiato un modello per un più specifico contratto di conservazione come servizio esterno integrato, sottolineando le peculiarità della manutenzione degli edifici storici, come la sorveglianza sui lavori prevista dalla legge di tutela.

2.
Mantova, Palazzo Te, Sala dei Cavalli-parete sud. Immagine precedente al restauro del 1989/90. E' visibile una fascia perimetrale inferiore ad un'altezza variabile da 1,5 a 2 metri con evidenti segni di umidità di risalita capillare

Mantua, Palazzo Te, Sala dei Cavalli – South wall. Picture before 1989/90 restorations. Evident signs of raising dampness can be seen in a lower zone, until a highness of 1,5-2 meters

cing accuracy and cost. People are not willing to spend in advance for prevention, therefore plans of conservation have to go the cheapest way, but this does not imply the renounce to advanced techniques: planned conservation can justify all new researches aiming to methods of remote acquisition of data, repeatable, working by scansion and not by samples punctually located. This is a streamline of up-to-date research of diagnosis methods applicable to works of art.
The demand is shifting from methods able to acquire data once a time to methods able to repeat the experiment in order to evaluate variations and time rates, and from heavy instruments (in laboratory) to portable ones.
Therefore, a list of prices of diagnosis methods has been gathered. On the other hand, the work of drafting satisfying plans appeared so heavy and discouraging that we arrived soon to the decision of writing a software expressly studied to help technicians in drafting, also by some help on line, giving information, definitions, comparisons of damages and so on. The software was called SIRCoP (Regional System for Planned Conservation), and nowadays Regione Lombardia gave funds to *engineer* it, in order to skip to a wider scale of testing.
It's worthy to say that most of our research has been carried on directly on field, drafting plans for the preventive conservation of different monu-

3.
Mantova, Palazzo Te, Sala dei Cavalli - parete sud. Stato attuale dopo i lavori di restauro. La zona, seppur in buono stato di conservazione, è da considerarsi a rischio per problemi di umidità di risalita
Mantua, Palazzo Te, Sala dei Cavalli – South wall. Today state after restoration works. Though in good state of conservation now, the lower zone must be considered at risk with reference to raising dampness

Essendo Palazzo Te uno dei casi più complessi che si possano immaginare anche sotto il profilo della molteplicità di funzioni compresenti, i risultati sono ora a confronto con il metodo di gestione del Palazzo Reale di Stoccolma.
Quindi possiamo affermare che qualche esito è stato raggiunto, soprattutto perché i nostri risultati, al di là delle enunciazioni teoriche, ribadite in documenti internazionali come la Dichiarazione di Palermo del 2003, sono già serviti da supporto a deliberazioni che modificano il quadro legislativo, rendendo la conservazione preventiva un po' meno utopica di quanto potesse sembrare qualche anno fa.

ments, from simple country churches to complex buildings such as Palazzo Te in Mantua. We had to test times and difficulties in drafting plans, i.e. in recognizing materials and building practices, in gathering data on previous restorations, in organizing data in order to arrive to reasonable statements about problems affecting the building, inspection times, necessary repairs. Most of all, the tests had to concern different conditions, and to involve stakeholders, in order to give reliable outputs. The case of Palazzo Te was the most interesting, because of the relevance of restorations done in the last decade, and because of the advanced monitoring system and maintenance management system already existent, being the monument involved in a global service contract, as all the buildings owned by the Municipality of Mantua.
The occasion was good in order to learn lessons about knowledge and about management: the tool was implemented to gather data which may also look scholarly, but are fundamental in such a monument, meanwhile some limits were pointed out in the functions dedicated to arrange the timetable of inspections and activities. A model for a better outsourcing contract was also studied, underlining the peculiarities of maintenance of historic buildings, such as the need for control, according to laws. Being one of the most complex cases available, the results went in comparison with the management system of the Royal Palace in Stockholm. Therefore we can say that some goal has been achieved, not only in theoretical statements, confirmed in international documents like the Declaration of Palermo, 2003, but mainly because our results have already supported some decisions which modified the legal framework, making preventive conservation a little less utopian than it was some years ago.

Luca Bertolini
Matteo Gastaldi
Pietro Pedeferri

Ispezione e diagnosi della corrosione delle armature nel calcestruzzo: l'ex Istituto Marchiondi a Milano

Inspection and diagnosis of corrosion of steel reinforcement in concrete: the former Institute Marchiondi in Milan

Sommario
L'articolo illustra un esempio di ispezione sugli edifici con struttura in calcestruzzo armato dell'ex Istituto *Marchiondi* di Milano, realizzato da Vittoriano Viganò negli anni '50. Tutti gli edifici del complesso presentano un avanzato stato di degrado, dovuto alla corrosione dei ferri d'armatura e al conseguente distacco del copriferro. Sono state effettuate prove non distruttive di vario tipo e si sono prelevati campioni su cui sono state effettuate analisi di laboratorio. I risultati delle analisi vengono discussi in relazione alla caratterizzazione del calcestruzzo, alla definizione dello stato attuale di degrado e alla previsione della sua evoluzione e ai possibili interventi di conservazione.

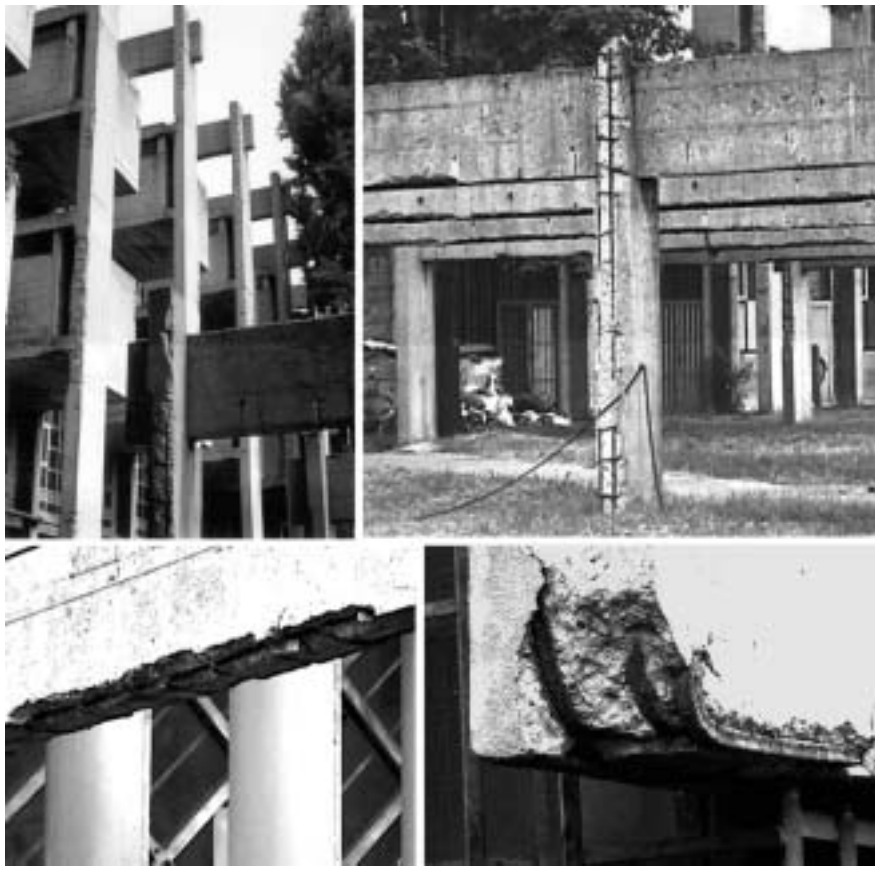
L'ex Istituto *Marchiondi*, realizzato tra il 1953 e il 1957 nel quartiere Baggio di Milano, è un complesso di diversi edifici progettato dall' Architetto Vittoriano Viganò. Nato per accogliere una scuola per ragazzi difficili, è di particolare interesse architettonico; nacque dalla collaborazione tra gli educatori e l'architetto che, ispirato al principio di libera ospitalità, elaborò una distribuzione libera, a schema aperto ed edifici trasparenti, a contatto con l'esterno [1].
Il complesso si articola in quattro nuclei edilizi principali, tra loro collegati ma indipendenti, che

Abstract
The paper describes an example of inspection on the reinforced concrete buildings of the former Institute *Marchiondi* in Milan, designed by Vittoriano Viganò in the 1950s. All the buildings of the Institute show an advanced state of degradation due to corrosion of steel reinforcement and to the consequent detachment of the concrete cover. Different types of non-destructive analyses were carried out and further laboratory analyses were carried out on concrete cores. Results of the tests are discussed in relation to the characterization of the concrete, the evaluation of the present deterioration of the structure and the analysis of its evolution in the future, as well as the possible conservation works.

The former Institute *Marchiondi*, built between 1953 and 1957 in the Baggio area of Milan, consists in a series of buildings designed by architect Vittoriano Viganò. Born to host a school for children, it is of special architectural interest; it was born from the cooperation between instructors and the architect who, inspired by the principle of free hospitality, elaborated a free distribution of spaces, with an open scheme and transparent buildings, in contact with the outside [1]. The Insitute is divided in four main nuclei, connected but independent each other, which host: offices, a residential centre for the children (convitto), a school centre and a residential centre for teachers.
Presently the buildings show a highly advanced state of degradation [Figure 1].
Area where the detachment of the concrete cover has discovered the steel reinforcement show the presence of construction defects related mainly to the absence of quality controls on the positioning of steel cages. Clearly no spacers and no other methods to fix the steel bars were used; consequently often the reinforced concrete elements have a negligible concrete cover thickness on one of the opposite sides. Inside the building the effect of corrosion of reinforced concrete is much less evident; nevertheless, at the upper floor water infiltration can be observed from the concrete roof.

Methodology of inspection
Inspection was divided in three phases:
a) visual observation of the buildings and collection of available data on the construction of the buildings;

1.
Stato di conservazione
attuale
Presently state of degradation

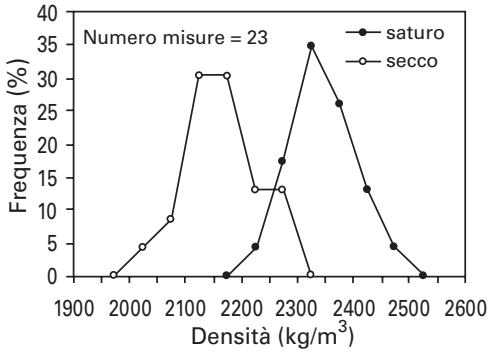


ospitano: un nucleo per gli uffici, un centro residenziale per i ragazzi (convitto), un centro scolastico e un centro residenziale per il corpo insegnante. La situazione attuale del complesso presenta un degrado molto avanzato [Figura 1].
Le parti in cui il distacco del calcestruzzo ha scoperto le armature, evidenziano dei difetti costruttivi legati principalmente alla mancanza di controlli sul posizionamento delle gabbie d'armatura. È chiaro che non si sono utilizzati distanziatori o altri accorgimenti per fissare le barre durante il getto; di conseguenza molto spesso gli elementi in calcestruzzo armato presentano spessori di copriferro esigui su uno dei lati. All'interno, i segni del degrado delle strutture in calcestruzzo armato sono meno evidenti; all'ultimo piano, tuttavia, vi sono infiltrazioni d'acqua dal solaio di copertura in laterocemento.

Metodologie d'indagine

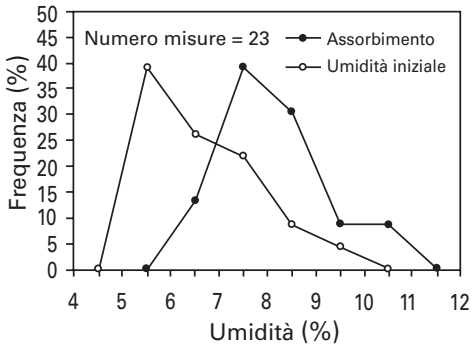
L'ispezione è stata divisa in tre fasi:
a) osservazione visiva degli edifici e raccolta delle informazioni disponibili sulla costruzione;
b) effettuazione di analisi non distruttive sulla struttura (anche nelle parti in cui i segni del degrado dovuto a fenomeni di corrosione delle armature non sono evidenti); c) prelievo di campioni, su cui sono state eseguite delle successive analisi di laboratorio. Si sono individuate varie zone per le analisi non distruttive e per il prelievo dei campioni, scelte in modo che potessero essere rappresentative delle diverse tipologie di elementi costruttivi e di condizione di esposizione. Sugli elementi strutturali sono state effettuate le seguenti analisi non distruttive:
a) prova di percussione sul calcestruzzo (hammer test) per individuare le zone in cui il copriferro fosse distaccato; b) misura dello spessore di copriferro con metodo magnetico; c) misure sclerometriche;

2.
Densità del calcestruzzo
Density of concrete



b) non-destructive analysis of the structures (included those parts where no sign of reinforcement corrosion is visible on the surface of the concrete); c) extraction of concrete cores to be subjected to laboratory analyses.
Some areas for non-destructive analyses and concrete cores were selected, in order to be representative of different types of structural elements and exposure conditions.
The following analyses were carried out on the structures:
a) hammer test aimed at detecting areas where the concrete cover is spalled; b) measurement of the concrete cover thickness with a magnetic covermeter; c) Schmidt hammer rebound test; d) mapping of the electrochemical potential of steel bars;
e) mapping of the electrical resistivity of concrete.
Concrete cores were subjected to phenolphthalein tests after coring, in order to measure the depth of carbonation. Subsequently, in the laboratory they were brought at different moisture conditions and the following parameters were measured:
a) density; b) water absorption; c) electrical resistivity; d) chloride content.
Microstructure of concrete was studied by means

3.
Umidità iniziale e assorbimento d'acqua
Initial moisture content and water absorption of concrete



d) mappatura del potenziale elettrochimico delle armature; e) mappatura della resistività elettrica del calcestruzzo.
I campioni di calcestruzzo sono stati prelevati mediante carotaggio; subito dopo il prelievo si è misurato lo spessore di carbonatazione, con la prova alla fenolftaleina. Successivamente, in laboratorio sono stati portati a diverse condizioni di umidità e si sono misurate le seguenti grandezze:
a) densità; b) assorbimento d'acqua; c) resistività elettrica; d) contenuto di cloruri.
La microstruttura del calcestruzzo è stata osservata al microscopio elettronico a scansione. I risultati delle analisi vengono discussi in relazione a tre aspetti distinti:
a) la caratterizzazione dei materiali utilizzati per le strutture in calcestruzzo armato; b) la valutazione dello stato di conservazione attuale dei materiali e delle strutture; c) la previsione dell'evoluzione futura del degrado e lo studio di possibili interventi di recupero.

Caratterizzazione del calcestruzzo

Le carote estratte dalle strutture hanno mostrato che il calcestruzzo presenta molte bolle d'aria

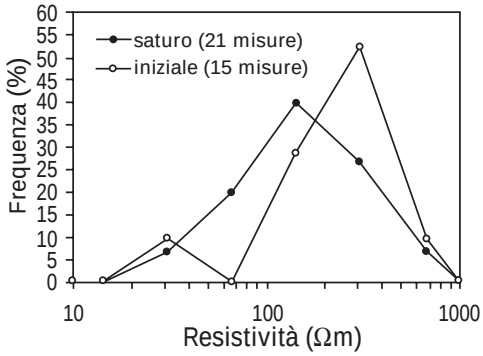
of electron scansion microscopy.
Results of the analyses will be discussed with regards to three different aspects: a) the characterization of the materials used for the reinforced concrete structures; b) the evaluation of the present condition of the structures; c) the estimation of the future evolution of the degradation and the study of possible repair works.

Characterization of concrete

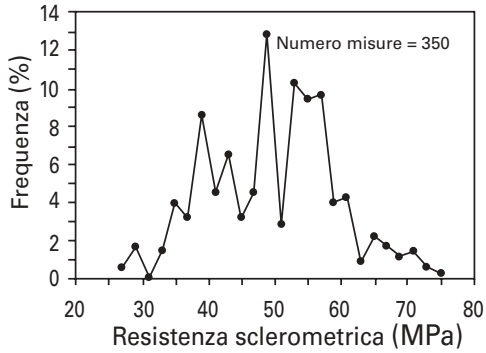
Cores from the structures showed the concrete has a remarkable content of entrapped air bubbles; in some samples these reach dimensions of 5-7 mm. Figure 2 shows the frequency analysis of the density measured on the cores taken from different parts of the buildings. Density of concrete has an average value of 2150 kg/m^3 under dry conditions and about 2300 kg/m^3 for water soaked concrete. Water absorption of concrete [Figure 3] has an average value of about 8% by mass, but it even reaches values higher than 10%. Figure 3 shows the frequency analysis of the initial moisture content of the cores; the average value is 6.7%. Hence, visual observation and measurements of concrete density and water absorption show a relevant presence of macrovoids due to air entrapped in the concrete (which was probably hand-compacted).

Figure 4 shows the frequency analysis of the values of electrical resistivity of concrete measured on the cores in the as-cored conditions and after water-saturation. Resistivity of water-saturated concrete has a value typical of concrete made of portland cement.Tests carried out on the structure show that the concrete, in general, has homogeneous properties in different parts of the structures. Figure 5 shows the frequency analysis of the Schmidt hammer rebound test.

4.
Resistività elettrica (carote)
Frequency analysis of the values of electrical resistivity



5.
Resistenza sclerometrica (in situ)
Frequency analysis of the Schmidt hammer rebound test



intrappolata; in alcuni casi raggiungono dimensioni di 5-7 mm.
La Figura 2 riporta le analisi di frequenza dei valori di densità ottenuti sulle carote prelevate dalle diverse zone del complesso. La densità del calcestruzzo ha un valore medio di 2150 kg/m^3 nel materiale secco e circa 2300 kg/m^3 in condizioni di saturazione. L'assorbimento d'acqua del calcestruzzo [Figura 3] ha un valore medio di circa 8% in massa, ma raggiunge anche valori superiori a 10%. La Figura 3 riporta anche l'analisi di frequenza dei valori di umidità iniziale; il valore medio è di 6,7%.
Le osservazioni visive e le misure di densità e di assorbimento d'acqua evidenziano quindi una significativa presenza di macropori dovuti all'aria rimasta intrappolata nel calcestruzzo fresco (probabilmente compattato a mano).

La Figura 4 mostra l'analisi di frequenza dei valori di resistività misurati sulle carote nelle condizioni di prelievo e di saturazione d'acqua. La resistività del calcestruzzo saturo è tipica di un calcestruzzo ottenuto con cemento Portland.
Le analisi effettuate mostrano che il calcestruzzo ha in genere caratteristiche omogenee nelle diverse

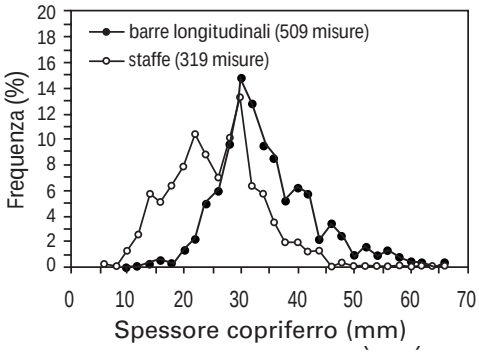
Present condition of the structures

The widely extended detachment of the concrete cover that can be observed on the buildings is due to the corrosion of steel reinforcing bars, brought about by carbonation of concrete. Laboratory tests and on-site non-destructive tests show that there are no causes of direct damage of the concrete. The absence of any maintenance to the structures has, any way, aggravated the deterioration of the buildings.
In order to evaluate the actual condition of conservation of the buildings, included those areas where the corrosion degradation is not yet evident, the future evaluation of the corrosion phenomenon has to be assessed. With this regard, initiation and propagation periods of corrosion have to be considered separately.

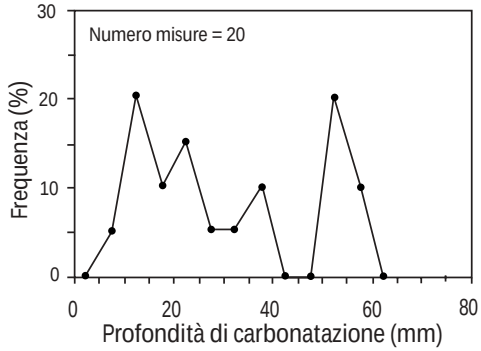
Corrosion initiation

Period of corrosion initiation is the time required for the carbonation depth to reach the concrete cover thickness, so that the steel bars lose the passive film that protect them. Such time depends on the thickness of the concrete cover and the rate of penetration of carbonation [2].

6.
Spessore di copriferro
Thickness of the concrete



7.
Profondità di carbonatazione
Carbonation depth



parti delle strutture. La Figura 5 riporta l'analisi di frequenza delle misure sclerometriche.

Valutazione dello stato di conservazione

L'esteso distacco del copriferro osservato sugli edifici è dovuto alla corrosione delle armature, insorta a causa della carbonatazione del calcestruzzo. Le analisi condotte in laboratorio e l'ispezione mostrano che non ci sono altre cause di degrado diretto del materiale. L'abbandono della struttura e la mancanza di interventi manutentivi ha, peraltro, aggravato le condizioni dello stabile.
Per valutare l'effettiva condizione di conservazione delle strutture, anche delle parti in cui non si è ancora manifestato il degrado dovuto alla corrosione delle armature, è necessario prevedere l'evoluzione del fenomeno. A questo scopo si devono considerare separatamente i periodi di innesco e di propagazione della corrosione.

Innesco della corrosione

Il periodo di innesco della corrosione rappresenta il tempo necessario affinché la carbonatazione interessi l'intero spessore di copriferro e quindi le armature perdano le condizioni di passività che le

The thickness of the concrete cover has a great variability [Figure 6]. As far as the stirrups are concerned, it ranges from less than 10 mm to more than 40 mm, and has an average value of about 25 mm; a similar distribution can be observed with regards to the longitudinal bars, which show values 8-10 mm higher. The great variability of the concrete cover thickness is mainly due to the absence, during the construction stage, of any care to the positioning of the steel cages (no spacers were used). In fact, often the cover thickness is rather low on one side of the elements, while it is much higher on the opposite side (this occurs both in the beams, where the lowest thickness is measured at the lower face, and in the pillars). In other cases the reinforcement cage is rotated horizontally or it is not vertical, so that the cover thickness is not constant even within the same side. The carbonation depth is also rather variable, especially due to different exposure conditions [Figure 7]. Pillars inside the building, which are drier, show carbonation depths higher than pillars exposed to the rain. Similarly, carbonation depth on elements in the North side of the buildings (and thus with a higher moisture content) is lower than on those exposed

proteggono. Questo tempo dipende dallo spessore di copriferro e dalla velocità con cui la carbonatazione penetra nel calcestruzzo [2].
Lo spessore di copriferro mostra una forte variabilità [Figura 6]. Per le staffe varia da meno di 10 mm a più di 40 mm, con un valore medio di circa 25 mm; per le armature longitudinali si osserva una distribuzione simile, con valori maggiori di 8-10 mm. La grande variabilità degli spessori di copriferro è dovuta principalmente al fatto che durante la costruzione non si è prestata attenzione al controllo del posizionamento delle gabbie di armatura (non sono stati utilizzati dei distanziatori).
Infatti, molto spesso lo spessore di copriferro è particolarmente basso su una faccia dei manufatti, mentre è molto più elevato sulla faccia opposta (questo si verifica sia nelle travi, dove gli spessori più bassi si misurano all'intradosso, sia sui pilastri). In altri casi la gabbia d'armatura è ruotata in orizzontale oppure non è verticale, per cui lo spessore di copriferro non è costante nemmeno sulla stessa faccia.
Anche la penetrazione della carbonatazione presenta una forte variabilità, dovuta soprattutto a differenti condizioni di esposizione [Figura 7].
I pilastri interni, più asciutti, mostrano valori di profondità di carbonatazione più elevati, mentre quelli esposti direttamente alla pioggia, hanno una profondità di carbonatazione molto inferiore.
Analogamente la penetrazione della carbonatazione negli elementi posti sulla facciata Nord (e quindi mediamente più umidi) è più bassa rispetto a quelli posti sulla facciata Sud.
Confrontando le Figure 6 e 7 si può osservare come la distribuzione della profondità di carbonatazione si sovrapponga a quella dello spessore di copriferro. Questo significa che in molti casi le armature sono state raggiunte dalla carbonatazione e quindi la corrosione si è già innescata.

Propagazione della corrosione

Anche la velocità di corrosione e quindi la propagazione dell'attacco corrosivo dipendono dalle condizioni di umidità. In questo caso, però, le condizioni più critiche si raggiungono dove il calcestruzzo è umido e quindi la sua resistività è bassa [1].
Infatti, se il calcestruzzo è asciutto, anche se la carbonatazione ha raggiunto le armature, la velocità di corrosione resta trascurabile e le sue conseguenze possono restare trascurabili per tempi molto lunghi.

to the South.
By comparing Figures 6 and 7 an overlapping can be observed between the frequency distribution of the carbonation depth and the concrete cover. This means that in many cases the steel bars were reached by carbonation and thus corrosion has already initiated.

Propagation of corrosion

Corrosion rate, and thus also the propagation of the corrosion attack, depend on the concrete humidity. Nevertheless, in this case the most critical conditions are reached where the concrete is wet and thus its resistivity is low [1]. In fact, if the concrete is dry, even if carbonation has reached the steel bars, corrosion rate is still very low and its consequences may be negligible for a much long time.
Figure 8 shows the resistivity of concrete and the corrosion potential of steel measured on an unsheltered pillar. It can be observed that, at lower height, near the soil, concrete resistivity is lower due to higher moisture content. In this areas the steel potential has values 200 mV lower than in the upper parts, where values around 0 mV vs $Cu/CuSO_4$ were measured, which correspond to negligible corrosion rates in carbonated concrete [2]. It can then be assumed that, even though carbonation has reached all of the steel bars, corrosion is critical only in the lower part of the pillars, as it is furthermore confirmed by the detachment of the concrete cover.
Even the inside walls of the buildings are made of un-plastered concrete. These areas, even though they have a high carbonation depth, do not experience the cracking or spalling of the concrete cover, since concrete is dry and the corrosion rate of steel is negligible. Low humidity of concrete is confirmed by the high values of resistivity measured on site. On the contrary, pillars outside the buildings, which are not sheltered by rain and are rather wet, show the detachment of the concrete cover, in spite of the rather low carbonation depth. In fact, the outermost steel bars (those with a low cover thickness) have been any way already reached by carbonation while the high moisture content of the concrete has led to a very high corrosion rate which brought about the cracking and spalling of concrete.

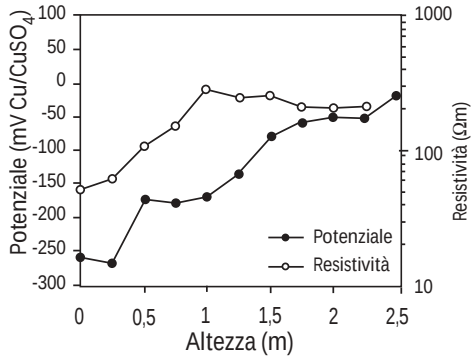
La Figura 8 mostra l'andamento della resistività del calcestruzzo e del potenziale delle armature rilevati su un pilastro esterno. Si osserva come, alle quote più basse vicino al terreno, la resistività sia inferiore rispetto alle quote più elevate a causa della maggiore umidità. Nelle zone inferiori il potenziale delle armature raggiunge valori di circa 200 mV inferiori rispetto alla parte superiore, dove si sono misurati potenziali prossimi a 0 mV vs $Cu/CuSO_4$ che corrispondono a velocità di corrosione trascurabili nel calcestruzzo carbonatato [2]. Si può quindi dedurre che, nonostante la carbonatazione abbia raggiunto tutte le armature, la corrosione dell'acciaio determini condizioni critiche solo nella parte inferiore, come peraltro confermato dal distacco del calcestruzzo in corrispondenza degli spigoli del pilastro. Anche le strutture interne sono in calcestruzzo faccia a vista. Queste, pur presentando una profondità di carbonatazione elevata, non mostrano il distacco del calcestruzzo, in quanto il calcestruzzo è molto asciutto e la velocità di corrosione delle armature rimane trascurabile. La bassa umidità del calcestruzzo è evidenziata dai valori elevati di resistività misurata direttamente in situ. Al contrario, i pilastri all'esterno senza alcun riparo dalla pioggia e quindi molto umidi, presentano parecchi distacchi di calcestruzzo, nonostante la profondità di carbonatazione non sia elevata. Le armature con lo spessore di copriferro più basso, infatti, sono state comunque già raggiunte dalla carbonatazione e l'elevata umidità del calcestruzzo ha determinato una velocità di corrosione molto alta che ha portato alla fessurazione e al distacco del copriferro.

Previsione

Considerando i risultati ottenuti con le diverse tecniche di analisi, si può concludere che lo stato di degrado che si osserva oggi sugli edifici, e che si è già manifestato da almeno 10-15 anni, è dovuto principalmente alla non regolare disposizione delle armature.

La presenza di spessori di copriferro particolarmente bassi ha portato già da molto tempo all'innesco della corrosione, nonostante la profondità di carbonatazione a distanza di 50 anni dalla costruzione sia mediamente modesta e confrontabile con lo spessore medio di copriferro. Infatti, la penetrazione della carbonatazione è di 20-25 mm per gli elementi esterni (se si escludono alcune zone in cui il calcestruzzo ha mostrato un resistenza minore rispetto alla media) e di circa 40 mm per quelli interni.

8.
Resistività del calcestruzzo e potenziale delle armature in un pilastro esterno
Resistivity of concrete and the corrosion potential of steel on an unsheltered pillar



Future evolution

From the results obtained with different techniques it can be concluded that the degradation that can be observed now on the buildings, which was already evident at least 10-15 years ago, is mainly due to the non-uniform location of the steel bars. The presence of very low thickness of the concrete cover has led since a long time ago to the initiation of corrosion, even though the carbonation depth after 50 years of exposure to the environment is modest and comparable with the average value of the concrete cover thickness. As a matter of facts, the carbonation depth is 20-25 mm on the outside of the buildings (with the only exception of the areas where the concrete has shown a lower strength) and about 40 mm inside the buildings. Since the buildings have about 50 years, by using the square-root relationship that is normally used to describe the time evolution of the carbonation depth [1,9]: $s = K \cdot t^{1/2}$ it can be obtained a carbonation coefficient K of about 3.5 mm/(year)$^{1/2}$ for the outside and 6 mm/(year)$^{1/2}$ for the inside of the buildings. For pillars exposed to the rain, influenced by a higher moisture content, by considering

Visto che la costruzione ha circa 50 anni, considerando la relazione parabolica con cui in genere si rappresenta l'andamento nel tempo della carbonatazione [1,9]: $s = K \cdot t^{1/2}$, si ottiene un coefficiente di carbonatazione (K) pari a circa 3.5 m/(anno)$^{1/2}$ per le parti esterne e 6 mm/(anno)$^{1/2}$ per quelle interne.
Per i pilastri esposti direttamente alla pioggia, influenzati da un più alto valore di umidità, considerando la penetrazione massima di 22 mm, si ottiene un coefficiente di 3 mm/(anno)$^{1/2}$.
Questi valori sono relativamente bassi grazie alla buona qualità del calcestruzzo, probabilmente confezionato con un rapporto acqua cemento basso (minore di 0.5) per garantire una elevata resistenza meccanica (come osservato con le misure sclerometriche).
Nonostante il distacco del calcestruzzo sia evidente solo nelle zone con basso spessore di copriferro, la profondità di carbonatazione ha ormai raggiunto valori tali da innescare la corrosione anche nelle zone in cui lo spessore di copriferro rispetta i valori medi. Pertanto si deve assumere che per la maggior parte degli elementi in calcestruzzo armato sia terminato il periodo di innesco. In funzione dell'umidità del calcestruzzo, si raggiungeranno in tempi più o meno brevi le condizioni di fessurazione e distacco del calcestruzzo. Quindi, per evitare che si raggiungano in futuro condizioni ben più gravi, che possano comprometterne anche la stabilità, e comunque per garantire la conservazione della struttura, è necessario un intervento di recupero che rimedi ai danni che la struttura ha già subìto e che arresti il fenomeno corrosivo in atto, in modo da prevenire ulteriori distacchi del calcestruzzo.
Per la scelta del metodo di recupero e per il successivo progetto dell'intervento si deve assumere come riferimento uno scenario in cui la carbonatazione

the higher depth of carbonation of 22 mm a coefficient K of 3 mm/(year)$^{1/2}$ can be calculated.
These are rather low values, due to the good quality of the concrete, which was probably mixed with a low water/cement ratio (lower than 0.5) to guarantee the a high compressive strength (as shown by Schmidt hammer rebound test).
Although the detachment of the concrete cover is evident only in the areas with a low cover thickness, the carbonation depth has now reached values enough high to initiate corrosion even in those areas where the cover thickness approaches the average values. Hence, it must be assumed that for most of the reinforced concrete structures the initiation time has finished.
Depending on the moisture of concrete, conditions leading to cracking of the concrete cover will be reached in time.
To avoid that in the future much more serious degradation conditions will be reached, which could affect the stability of the building, and in any case to guarantee the conservation of the structure a repair work is required. This should remedy to the damage that the structures have already experienced and should stop corrosion, so that further detachment of concrete is prevented.
As far as the choice of the repair method and its subsequent design is concerned, it should be considered a scenario in which the carbonation depth has reached the steel bars and the propagation of corrosion has led to a diffuse damage of the concrete cover. The conventional technique based on the removal of the carbonated concrete and its replacement with an alkaline mortar can be used.
To guarantee a reasonable service life to the repaired structure, the removal of a huge amount of carbonated concrete is necessary, even where its strength has not been affected yet.

ha ormai superato la profondità a cui si trovano le armature e la propagazione della corrosione ha portato a un diffuso danneggiamento del copriferro. Si potrebbe ricorrere alla tecnica tradizionale che prevede la rimozione del calcestruzzo carbonatato e la sua sostituzione con una malta alcalina che porti le armature di nuovo in condizioni di passività. Per garantire un'accettabile vita di servizio dell'intervento di recupero, sarà però necessario rimuovere ingenti quantità di calcestruzzo carbonatato, anche in zone in cui la sua resistenza meccanica non è ancora stata compromessa. Peraltro, in questo contesto, il ricorso a metodi alternativi al ripristino tradizionale (ad esempio la rialcalinizzazione elettrochimica o la protezione catodica [3]) non sembra conveniente, poiché è comunque necessario un massiccio intervento di sostituzione del calcestruzzo nelle zone in cui il copriferro è danneggiato o distaccato.

In this context, however, the application of alternative methods (for instance the electrochemical realkalisation or the cathodic protection [3]) does not seem convenient, since a massive repair work would be any way required in those areas where the concrete cover has already been damaged or detached.

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

[1]
R. Pedio, *Il nuovo istituto Marchiondi a Milano*, L'architettura - Cronache e storia, n. 40, 1959

[2]
P.Pedeferri, L.Bertolini, La durabilità del calcestruzzo armato, McGraw-Hill, Milano, 2000

[3]
L.Bertolini, B.Elsener, P.Pedeferri, R.B.Polder, Corrosion and protection of steel in concrete, Wiley, VCH 2004

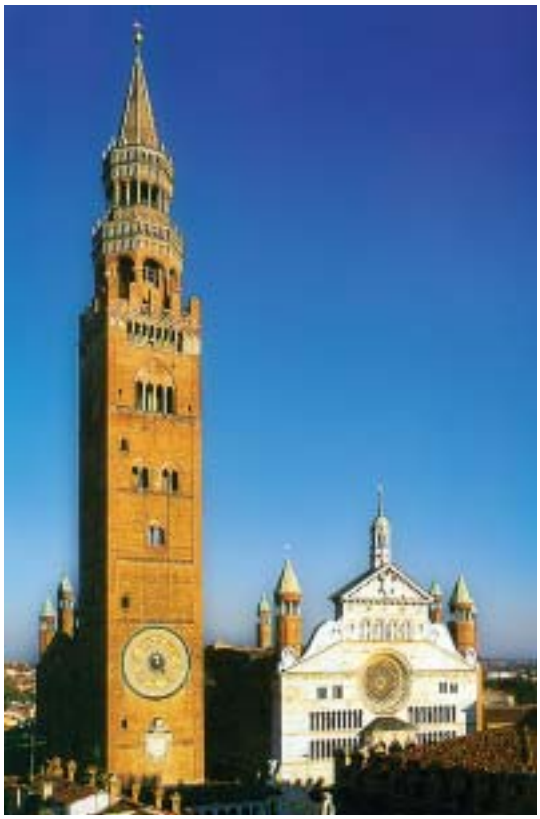
Alberto Zasso
Giulio Mirabella Roberti
Roberto Corradi
Roberta Tongini Folli

Caratterizzazione della risposta statica e dinamica di architetture storiche: la campagna di misure sul Torrazzo di Cremona

Characterisation of static and dynamic response of historic buildings: experimental investigation and monitoring of the Torrazzo in Cremona (Italy)

Una campagna di studi multidisciplinare recentemente conclusa, che ha visto coinvolti numerosi dipartimenti del Politecnico di Milano (DSCA, Meccanica, DIIAR, DIS), ha avuto come oggetto la valutazione dello stato di conservazione del Torrazzo di Cremona. La torre campanaria del Duomo, osservabile in Figura 1, la cui datazione ancora discussa può essere collocata fra l'VIII e il XIII secolo, con i suoi 112 m di sviluppo verticale, è l'edificio in muratura più alto d'Europa. Si tratta di una costruzione molto originale, che vede la sovrapposizione di due parti distinte. La parte inferiore è rappresentata da una classica torre romanica con base a sezione quadrata di 14 m di lato, che si erge fino a 70 m di altezza. A partire da tale quota, la massiccia struttura romanica, conclusa da una merlatura Guelfa, è sostituita dalla cosiddetta Ghirlandina, riccamente decorata e formata da due tamburi ottagonali sovrapposti sormontati da una cuspide conica alta 17 m, sostenuta sul perimetro da esili e aeree colonnine binate di granito.
Sulla base di un completo insieme di informazioni che spaziano dal rilievo geometrico globale della struttura, all'analisi in-situ dell'impianto murario, dalla caratterizzazione petrografica, fisico-chimica e meccanica della muratura, al rilievo del quadro

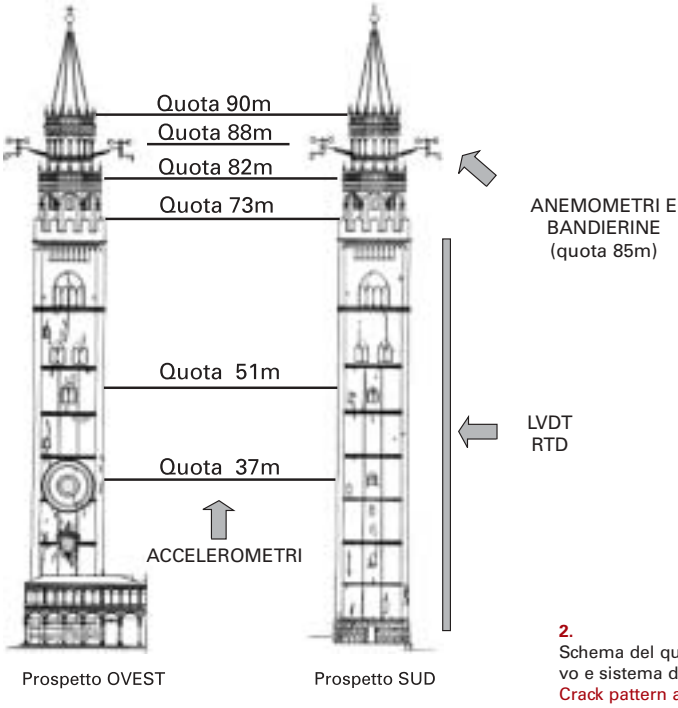
An experimental investigation based on a multidisciplinary approach has been carried out recently. The aim of the investigation which has involved many Departments of Politecnico di Milano (DSCA, Mechanical Engineering, DIIAR, DIS), was the evaluation of the stability and safety of the Torrazzo in Cremona. The bell-tower, called Torrazzo, adjacent to the Cathedral of Cremona [Figure 1] dates back to the Medieval times, even if the date of construction is still discussed and can be put between VIII century and XIII century.
The Tower, probably the highest Medieval masonry tower in Europe, is 112 m high. Its original structure is composed by two different part: a typical romanic tower with a squared base (14 m) part with merlons, up to 70 m, and a framed and richly decorated structure, called Ghirlandina, from 70 to 112 m, which is formed by two octagonal drums and by a conic spire, 7 m high, supported by thin granite coupled columns.
According to complete information and resulting from the geometrical survey of the whole structure, from on-site investigation of the masonry, from chemical-physical, petrographical and mechanical characterisation of the materials, from the crack pattern survey, from long-term monitoring of static and dynamic parameters, from the comparison between experimental tests and numerical analyses (FEM), a very deep evaluation of the state of damage of the tower and the indication of some guide lines for the restoration, subsequently carried out, could be achieved. The Department of Mechanical Engineering with the collaboration of the Department of Structural Engineering has designed and set up the monitoring system in order to define static and dynamic parameters of the response of the structure submitted to the action of wind and of thermal variations. As many recent collapses have demonstrated, long-term monitoring of ancient masonry towers can give useful information about their safety due to the propagation of crack pattern and of damage.
The monitoring has been based on two independent acquisition systems: the first one was aimed at storing dynamic signals (wind velocity and direction, tower accelerations) with a 50 Hz sampling frequency, allowing to capture the most significant natural structure frequencies; the second one was designed to acquire continuous information on physical, slowly varying quantities (temperature and cracks opening): therefore a low sampling fre-



1.
Il Torrazzo di Cremona: altezza 112 m
Torrazzo in Cremona: height 112 m

fessurativo, fino al monitoraggio di lungo termine di svariate grandezze statiche e dinamiche, al confronto tra le grandezze misurate sperimentalmente e le previsioni numeriche da modello FEM, è stato possibile formulare una valutazione molto approfondita sullo stato di salute della torre e indicare le linee guida dell'intervento conservativo successivamente intrapreso. In particolare il Dipartimento di Meccanica in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Strutturale sono stati responsabili della progettazione e della realizzazione del sistema di monitoraggio finalizzato alla definizione dei molteplici fattori che caratterizzano il comportamento statico e dinamico della struttura sotto l'azione del vento e delle sollecitazioni termiche. Si noti tra l'altro che il monitoraggio di lungo termine di antiche strutture a torre in muratura ha anche una specifica valenza in termini di sicurezza, a causa della possibile evoluzione del quadro fessurativo e del degrado delle caratteristiche meccaniche dei materiali, come testimoniato nella storia recente da alcuni crolli anche drammatici.
Per il monitoraggio del Torrazzo sono stati predi-

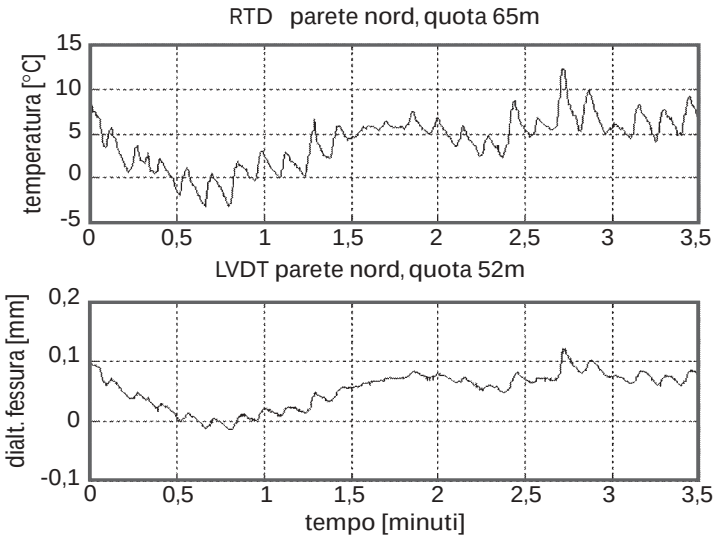
quency is needed (one sample each 10 minutes). 66 transducers have been installed: 4 cup anemometers and 4 win vanes, 21 accelerometers, 15 LVDT displacement transducers, 22 RTD transducers [Figure 2].
In order to measure the instantaneous speed and direction of wind on the structure, 4 cup anemometers and 4 wind vanes have been installed close to the top (85 m), on the four sides of the tower.
With reference to the analysis of the dynamic structure wind response and the experimental identification of the structure vibration modes, acceleration has been measured in 7 sections, positioned at different heights (37, 51, 73, 82, 88a, 88b, and 90 m) and defined according to numerically evaluated (FEM) modal deformations. By means of three accelerometers positioned in each section and proper numerical elaboration, it has been possible to identify both flexural vibration modes in different planes and torsional vibration modes.
The high frequency data acquisition system stored blocks of data lasting 10 minutes, only according to specific selection criteria, essentially based on the



2.
Schema del quadro fessurativo e sistema di monitoraggio
Crack pattern and monitoring system

sposti due sistemi di acquisizione indipendenti: il primo consente di registrare i segnali dinamici (velocità e direzione del vento, accelerazioni della torre) con una frequenza di campionamento di 50 Hz e di caratterizzare quindi i più significativi modi di vibrare della struttura; il secondo, progettato per acquisire con continuità informazioni su grandezze fisiche lentamente variabili (temperature e dilatazione delle più rilevanti fessure presenti sulla muratura del Torrazzo), immagazzina i dati provenienti da diversi punti della struttura, ad intervalli di 10 minuti.
In totale, il sistema di misura è stato predisposto per acquisire i dati provenienti da 66 trasduttori: 4 anemometri a coppe e 4 bandierine segnavento, 21 servo-accelerometri, 15 trasduttori di spostamento induttivi (LVDT), 22 termoresistenze (RTD), come sinteticamente illustrato in Figura 2.
Per quanto riguarda velocità e direzione del vento, la misura è effettuata alla quota di 85 m, tramite quattro postazioni sui quattro lati della torre, ognuna composta da un anemometro a coppe e da una bandierina segnavento. Per misurare la risposta dinamica della struttura all'azione del vento e caratterizzarne i modi propri di vibrare, è stato

wind speed intensity. As a consequence, only the most significant events for the characterisation of the structure dynamics excited by wind were automatically stored. Meanwhile, an historical data base of average wind speed and acceleration rms levels (in 10 minutes time base), has been continuously stored (for each wind and acceleration channel), synchronous with the corresponding temperature and cracks opening data, in order to completely characterise the static and dynamic behaviour of the tower in the long term, in different environmental conditions.
Two significant examples of parameters evaluated during the monitoring program are presented. Figure 3 shows, by means of historical data analysis, the correlation between the temperature of masonry and the crack opening in a period of 24 days (22 january-24 february 2000). The behaviour of the crack shows a clear correlation with the temperature cycles (both seasonal and daily) with an average thermal dilation coefficient of 9 µm/°C. Other cracks have shown higher values of thermal dilation coefficient (20 µm/°C). The long-term monitoring of 15 cracks and 22 temperatures with the identification of their evolution trends, can give



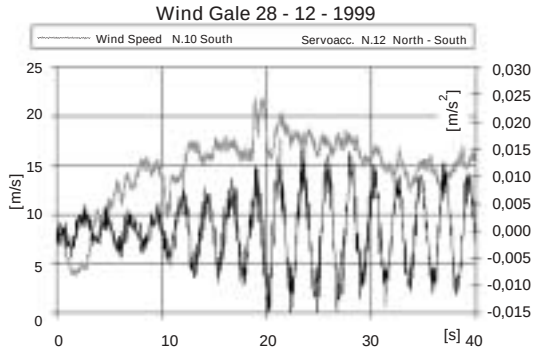
3.
Correlazione temperatura-fessurazione
Temperature and crack opening correlation

installato sulla torre un esteso sistema di servoaccelerometri, composto da 7 sezioni di misura a quote differenti (37, 51, 73, 82, 88a, 88b, 90 m), scelte sulla base dei risultati preliminari del calcolo dei modi propri di vibrare, forniti dal modello a E. F. Tramite gruppi di 3 servoaccelerometri opportunamente posizionati nelle diverse postazioni e un'adeguata elaborazione numerica dei segnali, è stato possibile identificare i principali modi propri della struttura, sia flessionali sia torsionali. Il sistema di acquisizione ad alta frequenza è stato predisposto per memorizzare selettivamente blocchi di dati della durata di 10 minuti, scelti in base a specifici criteri, legati alla velocità e alla direzione del vento. In tal modo, vengono automaticamente immagazzinati solo gli eventi più significativi per la caratterizzazione della dinamica della torre eccitata dal vento. Contemporaneamente, viene tuttavia aggiornata con continuità anche una base di dati storici (mediati su 10 minuti) di velocità e direzione del vento, temperatura, dilatazione delle fessure e valori R.M.S. delle accelerazioni, garantendo di pervenire nel lungo termine a una completa caratterizzazione del comportamento statico e dinamico della torre, nelle diverse condizioni ambientali. Si riportano due esempi significativi di grandezze rilevate nel corso del monitoraggio.
La Figura 3, ottenuta dall'analisi dei dati storici, mostra la correlazione tra temperatura della muratura e grado di apertura di una delle fessurazioni, per un periodo di 24 giorni (22 gennaio-24 febbraio 2000). Il comportamento della fessurazione

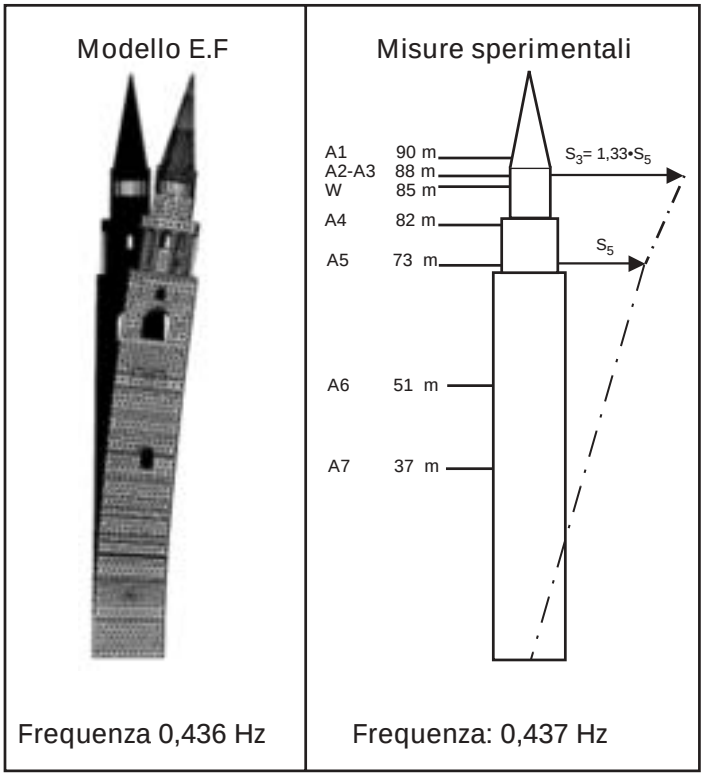
useful information for the modelling of the structural behaviour of the tower and to control the crack pattern and for the diagnosis of the stability of the structure.
Figure 4 shows the dynamic behaviour of the tower submitted to *vortex shedding* excitation during a long gust of wind with a maximum velocity of about 80 Km/h, after a constant and continuous increase of the wind speed from 5 to 22 m/s, then stabilised at 15 m/s: the resonance of the first flexural vibration mode at 0.44 Hz measured by one of the accelerometers can be observed.
This is a typical example of forced oscillations due to vortex shedding excitation, and similar behaviours were found at different wind speeds, exciting structural modes at different frequencies. The monitoring of these dynamic events not only allowed to estimate the amount of dynamic wind load associated to the turbolent wind or to particular phenomena like the vortex shedding, but also gave a detailed experimental definition of the vibration modes of the structures.
Figure 5 shows the comparison between the numerical modelling by FE and experimental measurements of the first flexural vibration mode.
The experimental modal analysis results have been used to validate the FE model for analysing the large and complex masonry tower, showing a good agreement in the first five vibration modes chosen as a reference, and optimising the values of Young's modulus and Poisson's coefficient which represent the dynamic behaviour of the structure close to the

mostra un'elevata correlazione con i cicli termici (sia stagionali che giornalieri) con un coefficiente medio di dilatazione termica di 9µm/ °C .
Altre fessurazioni hanno mostrato invece valori molto superiori (20µm/ °C) di tale coefficiente: il monitoraggio di lungo termine di 15 postazioni fessurative e 22 termiche, con identificazione di eventuali trends evolutivi, è quindi in grado di fornire informazioni di grande utilità per la modellazione del comportamento strutturale della torre e di tenerne sotto controllo il quadro fessurativo globale con ovvie implicazioni in merito alla diagnostica sullo stato di salute dell'opera.
Il secondo esempio riportato in Figura 4, mostra invece la dinamica della torre soggetta ad eccitazione da *vortex shedding* in concomitanza di una raffica di lunga durata con massima velocità del vento registrata pari a circa 80 *km/ h* : a seguito di un continuo e costante incremento della velocità del vento incidente da 5 a 22 *m/s*, e successiva stabilizzazione a 15 *m/s*, è riconoscibile la risonanza del primo modo flessionale della torre a 0,44 *hz* misurata da uno degli accelerometri in campo. Quanto mostrato è un tipico esempio di oscillazione forzata dovuta a eccitazione da distacco di vortici e simili comportamenti sono stati osservati per differenti velocità del vento con diverse frequenze e modi strutturali eccitati. Il monitoraggio di simili eventi dinamici, oltre che consentire la stima dell'entità del carico dinamico eolico associato al vento turbolento o a particolari fenomeni quali il distacco di vortice, ha permesso una accurata definizione sperimentale dei modi di vibrare della struttura.
Si riporta in Figura 5 il confronto tra modellazione numerica FEM e misura sperimentale inerente il primo modo flessionale. Si sono quindi utilizzati i risultati dell'analisi modale sperimentale allo scopo di validare il modello numerico FEM con cui la grande e complessa torre in muratura è stata analizzata, raggiungendo un ottimo accordo nei primi cinque modi di vibrare assunti come riferimento e ottimizzando in particolare i valori di modulo di Young e coefficiente di Poisson, rappresentativi del comportamento dinamico della struttura nell'intorno della configurazione di carico statico a cui è soggetta la muratura. Allo stesso modo utili indicazioni sono state ottenute anche per un'adeguata modellazione delle condizioni di vincolo della struttura. Il modello FEM così tarato risulta quindi un valido strumento per l'analisi del comportamento statico e dinamico della struttura ed è in

4.
Eccitazione da distacco di vortici: 18 m/s – 0.44 Hz
Vortex shedding: 18 m/s – 0.44 Hz



static load configuration to which the structure is subjected. In the same way, useful indications have been obtained for a suitable modelling of the boundary conditions of the structures.
The calibrated FEM model can be a useful tool to analyse the static and dynamic behaviour of the structure and to provide useful information for reinforcement and repairing. Dynamic response of the structure under environmental excitation (wind, traffic and vibrations transmitted by soil) can be considered as an interesting tool for the diagnosis of the conditions and evolution of state of structural parameters due to worsening of the crack pattern, constraints settlements or other causes.
As briefly described above, the multidisciplinary approach proves to be the fundamental key for the successful development of the research where different aspects like historical studies, surveys, laboratory and on site (static and dynamic) investigation and numerical modelling meet and join together.



5.
Confronto numerico-sperimentale: primo modo flessionale (A: sezioni di misura accelerometri, W: sezione di misura vento)
Numerical-experimental comparison: first flexural mode (A: acceleration measurement sections, W: wind measurement section)

grado di fornire utili informazioni per il successivo programma di intervento conservativo. In particolare, la risposta dinamica della struttura all'eccitazione ambientale (tipicamente vento, ma anche traffico stradale e altre vibrazioni trasmesse dal terreno) può essere utilizzata come un interessante strumento di diagnostica in merito ad eventuali evoluzioni nel tempo dei parametri strutturali e, in particolare, al degrado degli stessi a seguito, per esempio, di aggravamento del quadro fessurativo, cedimenti di vincolo o altro. Come illustrato da queste brevi note, che peraltro si focalizzano essenzialmente su uno dei molteplici temi affrontati, l'approccio multidisciplinare si è rivelato essere lo strumento chiave per lo sviluppo della ricerca, integrando con successo informazioni di ambiti generalmente molto distanti tra loro quali quello storico, quello del rilevamento, quello delle indagini di laboratorio, quello delle prove sulla struttura al reale statiche e dinamiche e quello della modellazione numerica.

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

[1]
Falco, M., Zasso, A., Moschioni, G., Corradi, R., Caratterizzazione della risposta statica e dinamica di una struttura civile soggetta all'eccitazione del vento: la campagna di misure sul Torrazzo di Cremona, proc. 6th Italian Conference on Wind Engineering IN-VENTO-2000, Genova, Italy, - June 18-21, 2000

[2]
L. Binda, G. Mirabella Roberti, C. Poggi, R. Tongini Folli, M. Falco, A. Zasso, R. Corradi, Static and dynamic studies on the Torrazzo in Cremona (Italy): the highest masonry bell tower in Europe, Int. Symp.Bridging Large.Spans: From Antiquity to the Present, Istanbul, Turkey, - May 29-June 2, 2000

[3]
Ronca, P., Tiraboschi, C., Binda, L., In-situ flatjack tests matching new mechanical interpretations, 11th Int. Brick/Block Masonry Conf. Shanghai, China, 1997, 357-366

Christian Campanella
Susanna Bortolotto

Metodi di datazione dell'edilizia storica: il Palazzo Baronale del Castello di Avio (TN)

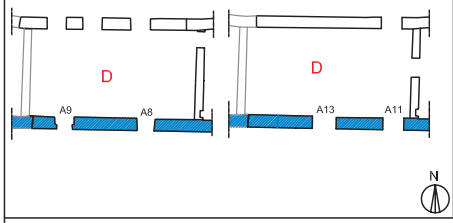
Methods for Dating Epoch Buildings: Baronale Palace at Avio's Castle (TN)

Il F.A.I., *Fondo per l'Ambiente Italiano*, impegnato nel progetto di restauro e di riuso del Palazzo Baronale del Castello di Avio, ha commissionato nel 2002 al Laboratorio di Diagnostica per la Conservazione e il riuso del Costruito del Dipartimento di Progettazione dell'Architettura la consulenza: *Analisi diagnostiche. Indicazioni per la conservazione del Palazzo Baronale del Castello di Avio* [1].
La prestazione è consistìta nell' identificazione delle fasi costruttive degli elevati sia del palazzo sia delle fortificazioni del castello nel suo complesso e nel controllo della variazione di verticalità dei prospetti sud ed est del palazzo mediante rilievo con stazione topografica [2]. Le indagini effettuate sul Castello di Avio si sono basate sull'analisi delle fonti dirette come strumento utile alla comprensione del manufatto nella sua evoluzione storica e nella sua consistenza materica. Grazie alle tecniche di datazione diretta - stratigrafia dell'elevato, lettura delle tessiture murarie, cronotipologia - e all'indagine visiva non invasiva, si è giunti alla conoscenza degli eventi che costituiscono il palinsesto di un manufatto nella sua complessità: il dato materiale e gli aspetti geometrico-formali sono portatori di informazioni e storia. Confrontando i risultati della lettura diretta con lo studio delle fonti indirette (documentarie, cartografiche, iconografiche e bibliografiche), è stato possibile confermare la convergenza dei risultati e indicare nuovi percorsi di indagine.

During the year 2002, F.A.I., *Fondo per l'Ambiente Italiano* (*The Italian National Trust*) commissioned the *Diagnostic analysis: Conservation of the Baronale Palace at Avio's Castle* to the Laboratorio di Diagnostica, in view that the entity was bound by the restoration and re-use project of the said building [1].
The study consists in the identification of the various construction phases for both the palace and the castle's fortifications, and also the study of the variation in the inclination of the palace's walls on the south and east elevations, carried out through the readings and topographical station [2].
The investigations carried out at Avio's Castle were based on the analysis of direct sources, which were used to comprehend the building's historical evolution and the consistency of the construction materials used throughout the years. Thanks to the basic method of dating buildings – stratification of elevations, typology of wall constructions and building elements through time – and to the non-destructive visual analysis carried out, the composition of the construction has been identified, in all its complexity: the material data and the geometric aspect of the structure attest its past history and hold considerable information. It has been possible to confirm the convergence of results by comparing the direct observations with the indirect sources (documentations, cartography, iconography and bibliography), which also led to the identification of new investigations which could be made. The adopted methodology has taken a peculiar form: the investigations have been carried out in depth bottom up, from the detailed phase (Baronale Palace) to the general phase (the fortifications around the castle).
The mapping of the walled structures has led to the identification of the continuity/discontinuity of the perimeter and dividing walls, the interconnection of walls at corners or its absence, changes to windows and doors, presence of cavities, pipes and chimney flutes and various other signs, used for the stratification of layers with respect to the period of construction. Moreover, this mapping also highlighted the various construction methods used for the walls and the different levels present (soffits and covers), even due to the beams and horizontal structures.
The first phase of the project consisted in the compilation of *Tables pertaining to the Analysis of Layers through Time* for each external and internal wall

SCHEDA N° S8s	CASTELLO DI SABBIONARA D'AVIO SCHEDE DI ANALISI STRATIGRAFICA		
Data di compilazione 6/12/2002	Stanza D	Prospetto Interno Sud	Piani superiori

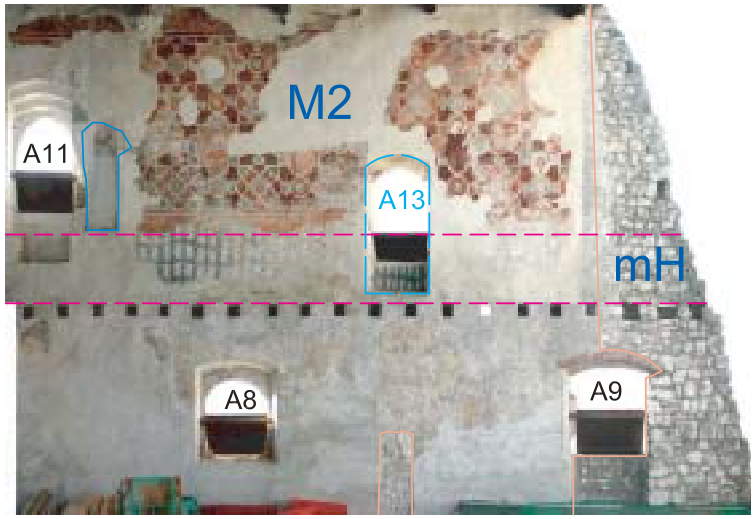
pianta livello corte pianta livello non calpestabile



TECNICA MURARIA : M2; mH

APERTURE: A8; A9; A11; A13

NOTE STRATIGRAFICHE:
La finestra A13 è stata ricavata tramite riapertura di un'apertura precedentemente tamponata. L'apertura A9 invece risulta rimaneggiata in seguito ai restauri eseguiti sulla parete.La spalla destra della finestra risulta infatti in fase con la cresta muraria (fase mH). Sulla restante parte della parete (muratura appartenente alla fase M2) si notano i fori di alloggiamento di precedenti orditi di solai, oggi scomparsi, che erano posizionati a due livelli diversi.
Si osserva un' area rettangolare priva di intonaco a destra della finerstra A8: è stato eliminato un elemento in calcestruzzo armato collocato per fini statici (tale struttura è ancora visibile al piano sottostante).



Legenda

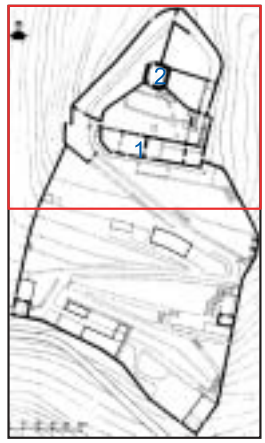
- murature non ammorsate
- murature ammorsate
- aperture ricavate in scasso
- presenza forature verticali
- tamponamento di aperture
- apertura ricavata da finestra precedentemente tamponata
- tamponamento di alloggi travi di solai o di buche pontaie
- altri segni di discontinuità muraria/tessitura muraria
- alloggiamenti per travi di solai
- ipotetici livelli di vecchi solai/piani calpestio

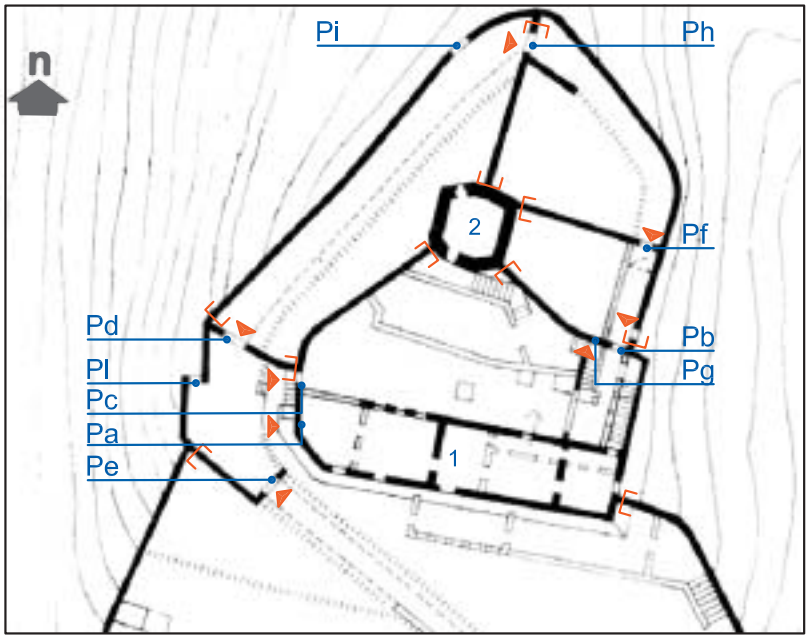
1.
Scheda S8s: esempio di scheda di analisi stratigrafica delle murature interne; parete sud, piano superiore
Form S8s: example of table showing analysis of internal walls' stratification; south wall, upper floor

SCHEDA N°M1	CASTELLO DI SABBIONARA D'AVIO ANALISI STRATIGRAFICA MURA SETTENTRIONALI
Data di compilazione 20/12/2002	CINTA MURARIA SETTENTRIONALE

LEGENDA

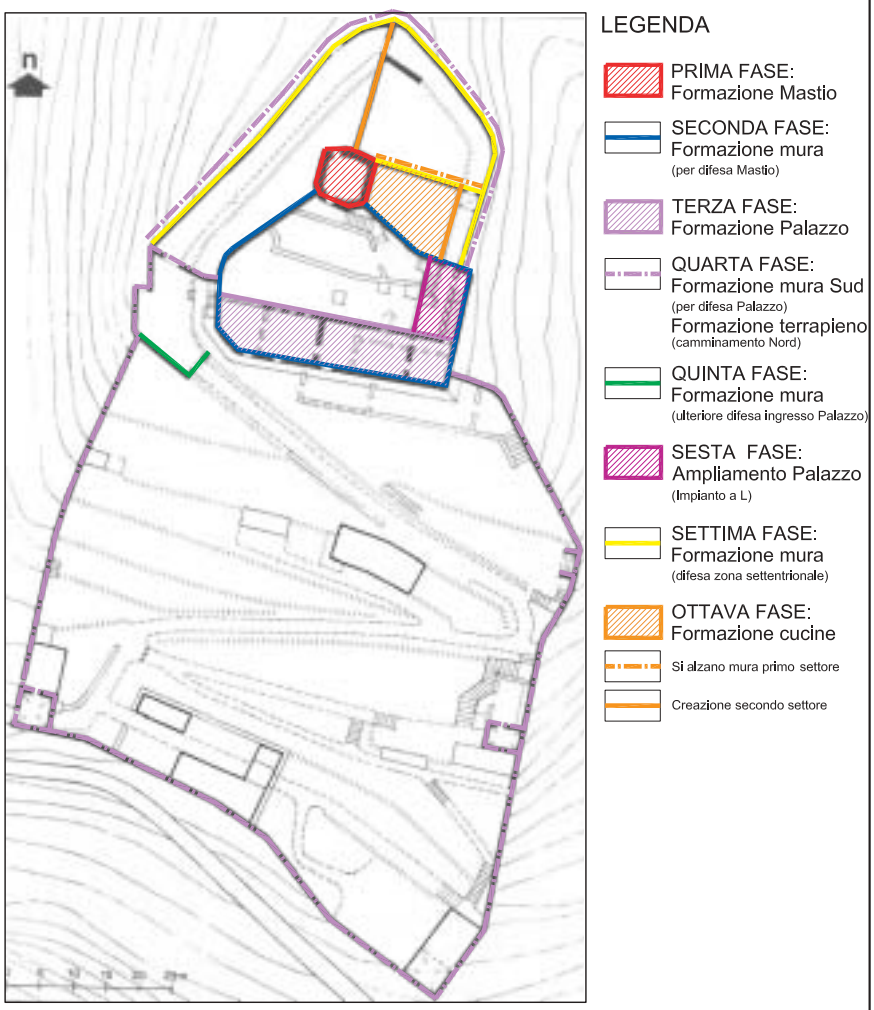
1 Palazzo Baronale
2 Mastio
Pa Denominazione porte
Murature non ammorsate
Murature ammorsate
Direzione di accesso





2.
Scheda M1: esempio di scheda di analisi stratigrafica delle mura di cinta; mura settentrionali
Form M1: example of table showing analysis of perimeter walls' stratification; northern walls

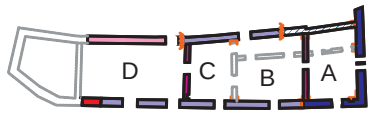
SCHEDA N° M2	CASTELLO DI SABBIONARA D'AVIO ANALISI STRATIGRAFICA MURA DI CINTA
Data di compilazione 20/12/2002	MURA SETTENTRIONALI E MERIDIONALI



3.
Scheda M2: esempio di scheda di analisi stratigrafica delle mura di cinta; mura settentrionali e meridionali
Form M2: example of table showing analysis of perimeter walls' stratification; northern and southern walls

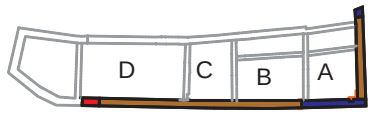
La metodologia adottata ha seguìto un percorso peculiare: le indagini si sono approfondite dal particolare (il Palazzo Baronale) al generale (il sistema delle fortificazioni del castello).
La lettura delle murature ha portato all'individuazione delle continuità/discontinuità murarie, degli ammorsamenti/non ammorsamenti dei setti e dei tramezzi, dei tamponamenti di porte e finestre, della presenza di vuoti, canne fumarie e camini e delle evidenze stratigrafiche di altro genere.
Tale lettura ha consentito inoltre di sottolineare le differenti tecniche murarie e le tracce dei diversi livelli (solai e coperture) grazie alla permanenza degli alloggiamenti delle travi delle strutture orizzontali stesse. La prima fase del lavoro ha portato all'elaborazione di *Schede di analisi stratigrafica* per ogni parete interna ed esterna e schedature sia delle tecniche murarie, che delle forometrie (porte e finestre) del palazzo.
L'analisi nel dettaglio di ogni parete (stratigrafia, tecniche murarie, cronotipologia, livelli delle strutture orizzontali) ha permesso, dopo un'attenta elaborazione dei dati, la comprensione delle relazioni fisiche generali dell'intero palazzo.
In particolare l'osservazione delle pareti esterne, in muratura a vista, è risultata chiarificatrice per l'individuazione delle fasi storico-costruttive della fabbrica e ha fornito conferme ai dati emersi nella lettura dettagliata dei singoli vani interni per lo più intonacati ed affrescati.
Le fasi della fabbrica sono state rappresentate anche definendo delle sezioni orizzontali - rappresentative dei diversi livelli (solai, coperture) che si sono succeduti nel tempo - e delle planimetrie che chiariscono il funzionamento generale dell'organismo costruttivo.
L'interpretazione finale delle evidenze stratigrafiche pertanto è stata effettuata affiancando la lettura dei prospetti esterni a quella dei prospetti interni, per individuare la corrispondenza dei vari livelli, cioè le quote delle strutture orizzontali e le diverse tracce in elevato che hanno portato all'attuale configurazione della fabbrica.
L'analisi stratigrafica svolta ha consentito così di individuare fasi corrispondenti a distinte tecniche costruttive, raggruppabili in sette attività principali; queste ultime descrivono complessivamente l'evoluzione nel tempo del manufatto storico, dalle origini sino ai nostri giorni, comprensiva degli interventi di messa in sicurezza e restauro degli anni

Pianta livello superiore non calpestabile



Legenda

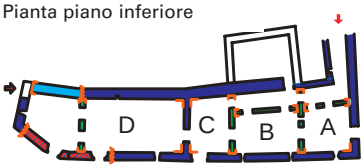
Pianta primo livello merlature



Legenda

and the registration of the construction methods used for walls and apertures' details of the Palace.
Further to the elaborate data processing phase, the detailed analysis of each wall (layering, construction methods, mapping, different levels of horizontal structures) was carried out – this enabled a depper understanding of the relationship between the physical components of the whole Palace.
The development of the said building through time was particularly perceived through the observations made with respect to the external walls, which confirmed the data resulting from the internal circulation spaces, which were either frescoed or painted over.
The different construction phases of the building have also been represented through the horizontal sections – representative of the various levels present (soffits, covers) carried out through the years – and the plans, which clarify the general use of the edifice.
In order to be able to identify the various construction phases, that is, those present by the horizontal and vertical structures shaping the building, the final interpretation of the different layers has been effected by comparison, between the internal and external elevations. The subsequent analysis of the

Pianta piano inferiore

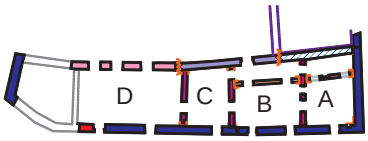


Legenda

- Fase 1A
- Fase 1B
- Fase 1C
- Fase 1D
- Fase 1A-E
- Dato non rilevabile
- Non ammorsato
- Ammorsato
- Taglio
- Ingresso

4.
Lettura stratigrafica delle murature; piante ai vari livelli
Legibility of stratification of walls; plans for different levels

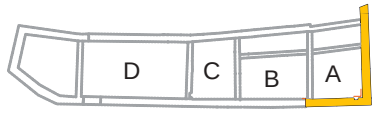
Pianta livello corte



Legenda

- Fase 1A
- Fase 2A
- Fase 2B
- Fase 2C
- Fase 2D
- Fase 2E
- Fase 1E
- Fase 2F
- Fase 2G
- Non ammorsato
- Ammorsato
- Taglio

Pianta secondo livello merlature



Legenda

- Fase 4A
- Non ammorsato
- Ammorsato
- Taglio

LEGENDA

Primo periodo: formazione delle murature perimetrali sud, est e nord; si configura una fase originaria in cui il palazzo appariva costituito da una torre aperta collocata a sud-est e da alcuni locali, probabilmente ambienti di servizio, al piano inferiore. L'accesso avveniva tramite un ingresso a ovest ed uno più grande e importante a nord - est; la presenza dell'ingresso ad ovest fa ipotizzare che anche in questa porzione del palazzo, oggi in gran parte crollata o rimaneggiata, vi fosse una struttura simile a una torre. Sembra credibile che in questa fase o immediatamente dopo il primo episodio costruttivo venisse elevata una porzione della muratura perimetrale nord, per chiudere l'ambiente a ridosso della torre; non ci sono però elementi stratigrafici per confermare questa ipotesi.

Fase 1A: formazione dei muri perimetrali, della torre aperta e di una parete di taglio ammorsata

Fase 2G: porzione muraria appartenente con molta probabilità al primo periodo o ad una fase intermedia tra il primo e il secondo periodo

Secondo periodo: realizzazione del livello della corte. Questa fase coincide con il progetto del vero e proprio palazzo baronale: si eleva la muratura perimetrale nord per formare due ulteriori livelli e si sopralza la muratura sud di un livello. In seguito alla formazione della corte viene modificato il sistema degli accessi al palazzo che si configura come appare oggi (ingresso tramite scala collocata a ovest del palazzo). In funzione del nuovo assetto distributivo e dell'elevazione di nuove strutture di orizzontamento, viene realizzato un tramezzo: la pianta del palazzo a livello della corte ha una distribuzione analoga alla pianta del piano inferiore. Sul prospetto est si legge la traccia di una gronda in beola (quella inferiore) su cui era impostata la copertura del corpo della torre. La copertura delle attuali stanze D, C e parte della B aveva un andamento perpendicolare rispetto alla copertura della torre, ovvero il colmo correva longitudinalmente alle murature perimetrali sud e nord; la traccia di questa antica struttura orizzontale, su cui si imposta la attuale copertura, è leggibile sul prospetto sud nella gronda in pietra.

Fase 2A: costruzione del muro perimetrale nord a due livelli; formazione di un primo sopralzo della parete perimetrale sud

Fase 1B: tamponamento dell'ingresso originario e costruzione di una parete di chiusura tra la muratura nord e la muratura ovest

Fase 2B: formazione di un tramezzo tra la stanza C e la stanza D a livello della corte

Terzo periodo: viene realizzato il sopralzo ben leggibile sul prospetto sud, impostato su una teoria di archetti, e un sopralzo sulla parete ovest, oggi visibile in parte. Quest'ultimo corrisponde alla porzione di muratura impostata su archetti sopra la gronda in beola inferiore; è probabile che il sopralzo fosse più elevato e coincidesse con il primo livello di merlature della torre (ben riconoscibile sul prospetto sud).

Fase 4B: formazione di un sopralzo con merlatura in appoggio alla fase 4A

Quarto periodo: il livello della corte viene modificato con la realizzazione di un corpo a "L" a est; la porzione più orientale della muratura nord diventa la parete interna di un locale che doveva essere delimitato da un muro di taglio con andamento nord - sud che collegava il palazzo con le strutture annesse al mastio. Sono ben riconoscibili gli affreschi che decorano la porzione di parete nord e continuano sulla parete est: essi attestano la presenza di questo locale interno. In questa fase viene realizzata una nuova copertura in corrispondenza della torre per potere riparare anche questo nuovo locale; le tracce di questo intervento sono ben visibili sul prospetto est, dove si osserva una gronda in pietra che interessa tutto il fronte. Per potere realizzare questa nuova copertura viene in parte
demolito il sopralzo realizzato nel terzo periodo, identificato come fase 4B
e tamponati i relativi archetti .

Fase 2F: realizzazione di una parete non più esistente e della finitura di due pareti di fase 2A

Quinto periodo: formazione dei sopralzi merlati sul prospetto sud ed est; in questa fase viene realizzato il sopralzo della torre sul prospetto sud e il sopralzo del prospetto est dalla gronda superiore in pietra fino all'altezza della merlatura oggi visibile. I merli sono stati probabilmente restaurati / rimaneggiati nel corso dell'ultimo intervento di restauro.

Fase 4A: formazione di un sopralzo con merlatura

Sesto periodo: Intervento di riuso / ridistribuzione sull'intero palazzo; la porzione ovest della muratura nord viene ricostruita. È in questa fase che si colloca la formazione dei tramezzi interni al palazzo; al piano inferiore e al piano a livello della corte si configura l'attuale distribuzione degli spazi (stanza A, stanza B, stanza C, stanza D).

Fase 1C: creazione tramezzi con orientamento nord - sud al piano inferiore

Fase 1D: formazione tramezzi con orientamento est - ovest a livello del piano inferiore

Fase 2C: ricostruzione di paramento murario in seguito a intervento di riuso

Fase 2D: formazione tramezzi con orientamento nord - sud a livello della corte

Fase 2E: formazione tramezzi con orientamento est - ovest a livello della corte

Settimo periodo: formazione di una cresta muraria in seguito ai restauri effettuati negli anni '70; in questa fase si interviene anche con operazioni di cuci - scuci in corrispondenza di alcune aperture e di alcune porzioni murarie.

Fase 1E: formazione cresta muraria e parete (anni '70)

Fase 1A-E: ricostruzione di porzione muraria già esistente in fase 1A

LEGENDA

Primo periodo: formazione delle murature perimetrali sud, est e nord; si configura una fase originaria in cui il palazzo appariva costituito da una torre aperta collocata a sud-est e da alcuni locali, probabilmente ambienti di servizio, al piano inferiore. L'accesso avveniva tramite un ingresso a ovest ed uno più grande e importante a nord-est; la presenza dell'ingresso ad ovest fa ipotizzare che anche in questa porzione del palazzo, oggi in gran parte crollata o rimaneggiata, vi fosse una struttura simile a una torre. Sembra credibile che in questa fase o immediatamente dopo il primo episodio costruttivo venisse elevata una porzione della muratura perimetrale nord, per chiudere l'ambiente a ridosso della torre; non ci sono però elementi stratigrafici per confermare questa ipotesi.

Fase 1A: formazione dei muri perimetrali, della torre aperta e di una parete di taglio ammorsata

Fase 2G: porzione muraria appartenente con molta probabilità al primo periodo o ad una fase intermedia tra il primo e il secondo periodo

Secondo periodo: realizzazione del livello della corte. Questa fase coincide con il progetto del vero e proprio palazzo baronale: si eleva la muratura perimetrale nord per formare due ulteriori livelli e si sopralza la muratura sud di un livello. In seguito alla formazione della corte viene modificato il sistema degli accessi al palazzo che si configura come appare oggi (ingresso tramite scala collocata a ovest del palazzo). In funzione del nuovo assetto distributivo e dell'elevazione di nuove strutture di orizzontamento, viene realizzato un tramezzo: la pianta del palazzo a livello della corte ha una distribuzione analoga alla pianta del piano inferiore. Sul prospetto est si legge la traccia di una gronda in beola (quella inferiore) su cui era impostata la copertura del corpo della torre. La copertura delle attuali stanze D, C, e parte della B aveva un andamento perpendicolare rispetto alla copertura della torre, ovvero il colmo correva longitudinalmente alle murature perimetrali sud e nord; la traccia di questa antica struttura orizzontale, su cui si imposta la attuale copertura,
è leggibile sul prospetto sud nella gronda in pietra.

Fase 2A: costruzione del muro perimetrale nord a due livelli; formazione di un primo sopralzo della parete perimetrale sud

Sesto periodo: Intervento di riuso / ridistribuzione sull'intero palazzo; la porzione ovest della muratura nord viene ricostruita. È in questa fase che si colloca la formazione dei tramezzi interni al palazzo; al piano inferiore e al piano a livello della corte si configura l'attuale distribuzione degli spazi (stanza A, stanza B, stanza C, stanza D).

Fase 2C: ricostruzione di paramento murario in seguito a intervento di riuso

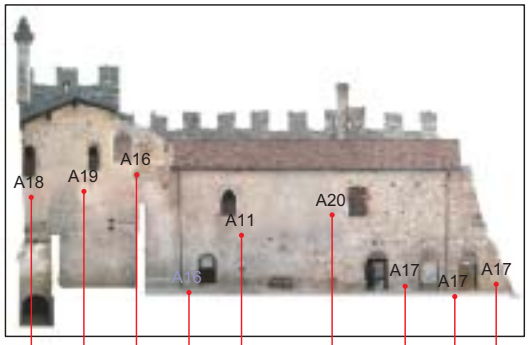
Settimo periodo: formazione di una cresta muraria in seguito ai restauri effettuati negli anni '70; in questa fase si interviene anche con operazioni di cuci - scuci in corrispondenza di alcune aperture e di alcune porzioni murarie.
Alcune aperture vengono realizzate in porzioni murarie in cui erano preesistenti delle feritoie; alcune finestre preesistenti vengono modificate e rimaneggiate, ma non ci sono elementi per datare le aperture originarie.

Fase 1E: formazione cresta muraria e parete (anni '70)

R Apertura modificata nel settimo periodo, nel corso dei recenti interventi di restauro

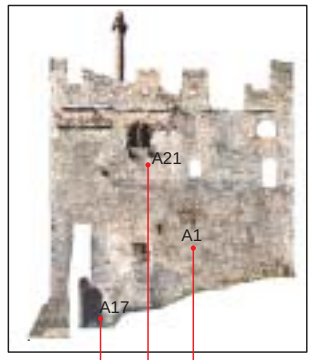
5.
Lettura stratigrafica e cronotipologica; prospetti esterni sud, nord ed est
Legibility of stratification and chronology; southern, northern and eastern external elevations

PROSPETTO ESTERNO NORD



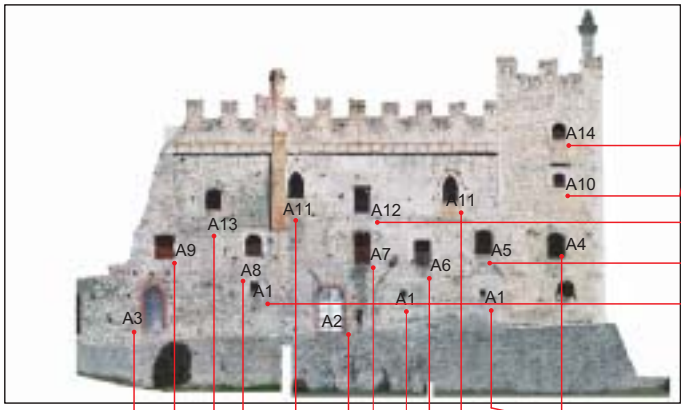
Descrizione	A18	A19	A16	A16	A11	A20	A17	A17	A17
Relazione fisica	N.A. R	N.A.	A.	A.	N.A.	N.A. R	A.	A.	A.
Interpretazione	4° periodo	4° periodo	1° periodo?	2° periodo	2° periodo	2° periodo	6° periodo	6° periodo	6° periodo

PROSPETTO ESTERNO EST



Descrizione	A17	A21	A
Relazione fisica	N.A.	N.A.	A.
Interpretazione	6° periodo	4° periodo	1° periodo

PROSPETTO ESTERNO SUD



Descrizione	A14	A10	A12	A5	A
Relazione fisica	N.A.	N.A.	N.A. R	N.A. R	A.
Interpretazione	4° periodo	2° periodo	4° periodo	2° periodo	1° periodo

Descrizione	A3	A9	A13	A8	A11	A2	A7	A	A6	A11	A	A4
Relazione fisica	N.A.	N.A. R	N.A. R	A.	N.A. R	N.A.	N.A. R	A.	N.A. R	N.A. R	A.	N.A. R
Interpretazione	7° periodo	1° periodo	4° periodo	1° periodo	2° periodo	7° periodo	?	1° periodo	?	2° periodo	1° periodo	2° periodo

Settanta. Alla lettura delle evidenze stratigrafiche e alle tecniche murarie ha seguìto l'analisi cronotipologica delle forometrie del palazzo. È stata effettuata una schedatura sui prospetti interni ed esterni di ogni apertura, completando la descrizione tipologico-formale con i dati stratigrafici. Quindi sono state individuate le relazioni fisiche tra le aperture in rapporto (coevità, anteriorità o posteriorità) alle murature di appartenenza ed è stato possibile collocarne la maggior parte all'interno del palinsesto già delineato dalla lettura stratigrafica.
L'analisi effettuata, grazie alle tecniche di datazione diretta, è stata confrontata con documenti iconografici e fotografici selezionati. L'interpretazione delle immagini d'archivio ha fornito altresì datazioni assolute da riferirsi alle recenti fasi di restauro. In seguito all'osservazione diretta delle murature dell'intera cinta muraria del castello è stato possibile ricostruire un'ipotesi di sviluppo dell'intero complesso fortificato; sono state individuate le relazioni stratigrafiche tra le diverse porzioni murarie, le sequenze degli accessi di ogni portale presente nelle mura e le rispettive relazioni fisiche con la muratura di appartenenza.
Le fasi costruttive per l'intero complesso fortificato sono state comparate con i periodi relativi allo sviluppo del palazzo.
La complessità del lavoro presentato non si esaurisce nel semplice accrescimento della conoscenza e della comprensione del manufatto, ma offre validi spunti e indicazioni per un corretto approccio al progetto di intervento. La fabbrica, tramite le tracce impresse e il sedime stratificatosi nel tempo, suggerisce da sé precise indicazioni metodologiche per un corretto approccio progettuale. L'individuazione degli ammorsamenti e dei non ammorsamenti, delle continuità e discontinuità tra le murature consente di rappresentare fisicamente il sistema degli equilibri e disequilibri statici del manufatto, cui è necessario riferirsi per qualunque intervento sulle strutture.
Il riuso degli spazi, previsto dal F.A.I. per il castello, comporta la conoscenza dei gradi di vincolo e di libertà dell'edificio stesso in rapporto a tutti gli adeguamenti compatibili con il manufatto, e soprattutto nel caso di nuove aperture di porte e finestre o il posizionamento di nuovi orizzontamenti si avvarranno dell'analisi stratigrafica per individuare nelle tracce preesistenti (tamponamenti, fori di alloggiamento di travi e travetti, ecc.) punti preferenziali in cui realizzare nel dettaglio il

stratification of the various layers has led to the recognition of the phases corresponding with the particular construction methods, which can be mainly grouped in seven sets; the latter exhaustively describes the evolution of the building through the years up to this present day, including the various interventions made to the structure during the seventies.
Further to the appraisal related to the stratification of layers and the construction technology used for the walls, the analysis of the apertures with respect to their period of construction followed.
A number of tables, showing the internal and external elevations with all the apertures, were prepared. Hence the relationship between the apertures and the walls onto which they were placed (same period, before or after) could be established for most of the internal spaces.
The direct-dating analysis which was carried out, was compared to the selected photographic and iconographic documents. Another source of information which helped to date the restoration works which had been carried out to the building consisted of the interpretation of the archived photos.
The approximate development phases of the fortification were also mapped following the direct observations made on the fort's internal walls; the relationships between the different walls and the different accesses with respect to the walled structure, were noted.
The construction phases of the whole fortified complex were compared to those of the Palace.
The complexity of the work carried out is not limited to the mere enhanced knowledge and comprehension of the edifice, but offers further suggestions and indications for proper interventions.
It is the building itself, through the traces and patina formed through the years, that the methodological indications for a correct attitude when intervening on the building are fashioned. The classification of the joints at the corners or their absence, the continuity or discontinuity of the walls, allows us to physically represent a system of the building's structural stability or lack of, which needs to be consulted for any intervention which is to be carried out.
The re-use of the spaces within the castle, as foreseen by F.A.I., consists of the recognition of the building's level of protection and its adaptability to change, especially in case of new openings or walls, which should result from the analysis outlined

progetto di riuso. Questa metodologia non si pone l'obiettivo di ripristinare un ipotetico assetto originario non più esistente, ma esprime l'esigenza di comprendere appieno il comportamento statico e materico della fabbrica e di tutelare l'integrità delle tracce, delle sue vicende nella loro complessità.

above, in order to identify the interventions made (marks, traces of beam positions etc) and the best options to be implemented for the reuse.
This methodology does not presume the restoration of a disused asset but expresses the need to comprehensively understand the structure and constituent materials making up the building and to protect the integrity of the remains through time within their complexity.

NOTE

[1] Coordinamento scientifico: prof. C. Campanella; responsabile dell'incarico arch. S. Bortolotto, collaboratori: arch. A. Battistelli, ing. A. Macchi, arch. R. Mastropirro, arch. C. Tettamanti

[2] Il controllo di verticalità mediante *total station*, ha interessato n. 5 postazioni realizzate con n. 5 pilastrini in c.a. con opportuna piastra per consentire un centramento forzato dello strumento topografico. Sulla verticalità di ognuna di queste postazioni sono stati materializzati dei riferimenti fissi (centrini) montati su piccole mensole, scalati di alcuni cm. per permettere la collimazione dalla postazione a terra corrispondente e determinare con lo strumento topografico l'angolo zenitale e la distanza. Lo strumento topografico di alta precisione munito di indice di verticalità automatico e compensatore biassiale, fissato rigidamente sulla piastra, permette di avere un riferimento verticale stabile per il calcolo della distanza tra questo ed ogni singolo centrino posizionato su mensola. Facendo la differenza di queste distanze nel tempo (sono previste sei serie di letture in un arco temporale di diciotto mesi) si ottengono le variazioni parziali, totali, annuali necessarie per monitorare gli spostamenti della parete in oggetto. Sono stati adottati particolari accorgimenti di misura degli angoli verticali, distanze e temperature in modo da assicurare sulle variazioni calcolate precisioni dell'ordine di 0,2 - 0,3 mm

NOTES

[1] Scientific co-ordination: Prof. C. Campanella; Project Manager: Arch. S. Bortolotto, Collaborators: Arch. A. Battistelli, Ing. A. Macchi, Arch. R. Mastropirro, Arch. C. Tettamanti

[2] The observations related to the degree of inclination in the vertical walls through the total station, have been studied at 5 different points through the installation of 5 stations, adequately mounted on reinforced concrete platforms to ensure the necessary stability of the apparatus. Fixed markings have been set up onto each station, which were displaced by a few centimetres to allow the reading to be taken, in terms of angles and distances. The topographical apparatus is a high precision instrument which is able to take the necessary readings in relation to the distance between the markings on the vertical wall. By taking the readings of the markings' positions through time, the partial, total and annual variations in the displacement of the walls may be obtained. Particular attention was given at the corners of the vertical walls, their measurement, distances and temperatures were read in order to ascertain a margin of error in the region of 0,2 - 0,3 mm

Maurizio Acito
Alberto Franchi
Antonio Migliacci

Procedura numerico-sperimentale della fase di riallineamento delle travi dell'impalcato del 26° piano del grattacielo Pirelli a Milano

Experimental Numerical procedure used in the realignment of the deck beams of the 26th floor of the Pirelli skyscraper in Milan

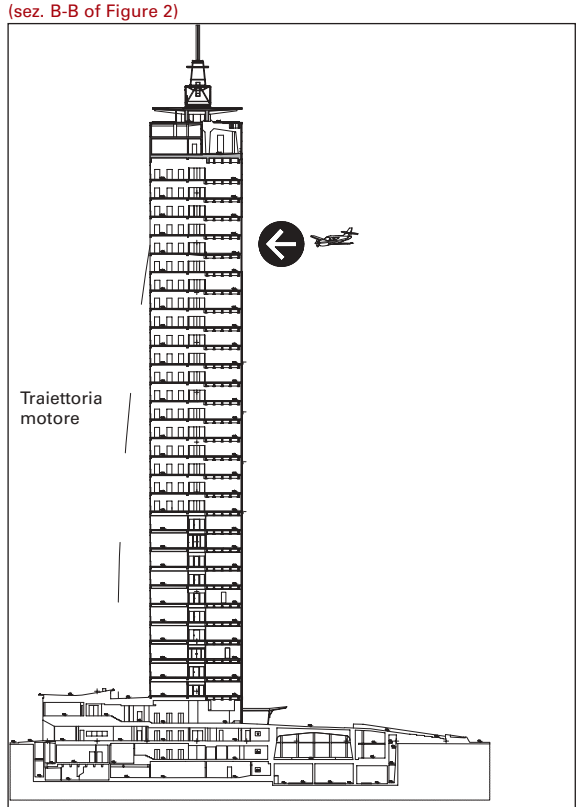
Sommario

La memoria presenta in modo dettagliato la procedura seguita per ottenere il riallineamento delle travi dell'impalcato del 26° piano del grattacielo Pirelli, danneggiate con grandi spostamenti verso il basso a causa dell'incidente avvenuto il 18 aprile 2002, quando un piccolo aereo ha colpito la facciata su Piazza Duca d'Aosta del Palazzo Pirelli.
Scopo della memoria è quello di presentare le analisi e le procedure utilizzate per tale fase di riallineamento.

Premessa

Il giorno 18 aprile 2002, alle ore 17,47, un monomotore Commander 112 Tc ha colpito la facciata del grattacielo Pirelli su piazza Duca d'Aosta [Figura 1], tra l'impalcato del 26° piano e quello del 27° piano, sulla mezzeria dell'edificio, penetrando all'interno [Figura 2].
In seguito all'urto e all'esplosione dei due serbatoi, posizionati in prossimità delle ali, il motore dell'aereo si è separato dalla fusoliera, fuoriuscendo dalla facciata opposta, lato via Fabio Filzi.
I danneggiamenti prodotti sulle strutture ([1], [2] e [3]), dell'impalcato del 26° piano, erano caratteriz-

1.
Sezioni verticali edificio
(sez. B-B di Figura 2)
Vertical section of building
(sez. B-B of Figure 2)

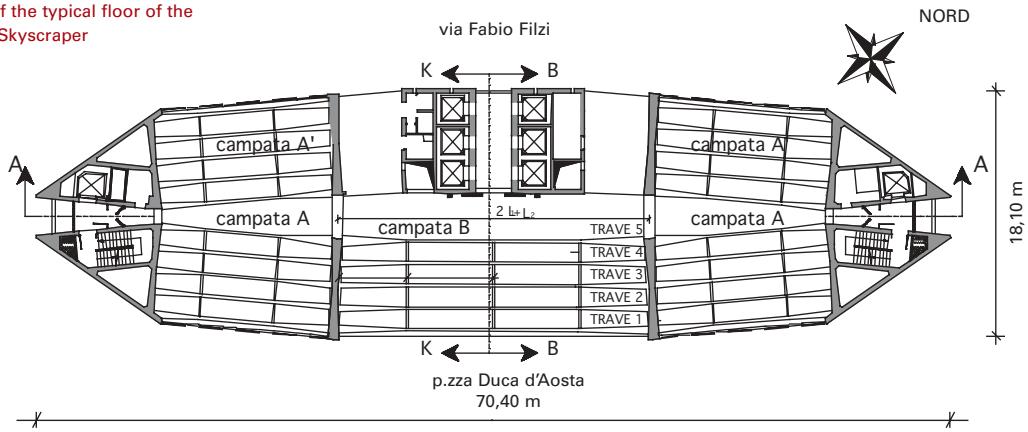


Sezione B-B

Summary

The paper presents in detail the procedure followed in order to obtain the realignment of the deck beams on the 26th floor of the Pirelli skyscraper, which were damaged by being violently shifted downwards in the accident that occurred on 18th April 2002, when a small plane ploughed into the façade overlooking Piazza Duca d'Aosta of the Pirelli building. The purpose of the paper is to analyze the procedures employed in effecting the realignment.

2.
Pianta dell'impalcato tipo del grattacielo Pirelli
Deck of the typical floor of the Pirelli Skyscraper

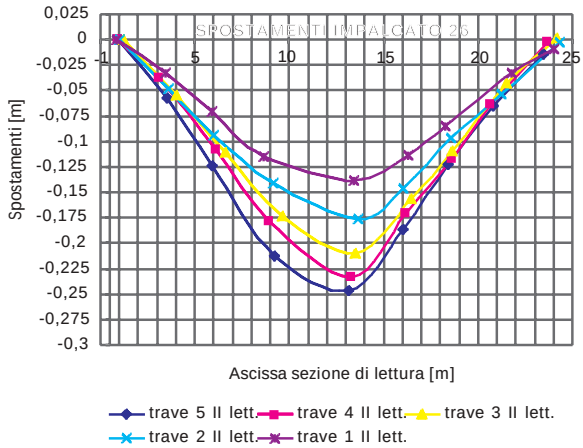


zati da uno stato fessurativo delle travi localizzato a cavallo della mezzeria, e da uno stato di deformazioni delle travi tali da determinare, nelle sezioni di mezzeria, frecce comprese fra i 25 cm della trave più interna, e i 14 cm della trave esterna (P. zza Duca d'Aosta). Per le travi dell'impalcato del 27° piano, lo stato deformativo, oltre che invertito (in quanto prodotto da un carico verso l'alto, [1], [2], e [3]) si presentava con spostamenti residui verso l'alto di 5-6 cm in mezzeria della trave 5, la più deformata. Il problema del riallineamento delle travi della campata B dell'impalcato del 26° piano [Figura 2], risultato fondamentale nel momento in cui ci si è orientati in direzione di una conservazione delle strutture esistenti. In tale ottica, è risultato essenziale il recupero delle deformazioni residue verso il basso, mediante una forzatura con dei martinetti su una puntellazione di contrasto.
Come si vedrà nel prosieguo, il raggiungimento di tale obiettivo è stato possibile confidando sulla possibilità di potere assegnare una deformata plastica, in verso opposto a quella residua dopo lo scoppio, tale da garantire che allo scarico le travi assumessero la posizione voluta (configurazione obiettivo).
Si è altresì ipotizzato di stimare in modo attendibile

Foreword

On 18th April 2002, at 17.47 hours, a 112 TC Commander single-engine plane struck the facade of the Pirelli skyscraper overlooking Piazza Duca d'Aosta [Figura 1] between the deck beams of the 26th floor and those of the 27th floor, near the central cross-section, penetrating inside the building [Figure 2].
As the result of the collision and the explosion of the two fuel-tanks, located near the wings, the plane's engine was severed from the fuselage, ending up outside the opposite façade, that is facing Via Fabio Filzi.
The damage caused to the structures ([1], [2] and [3]) of the beams on the 26th floor indicated cracks in the beams located across the centre, as well as deformation of the beams so severe that, in central cross-sections, it caused displacements ranging from 25 cm for the internal beams to 14 cm for the external beams (on the Piazza Duca d'Aosta side).
As regards the deck beams on the 27th floor, the deformation, in addition to being inverted (inasmuch as it was caused by an upward thrust [1], [2], and [3]), evidenced upward residual displace-

3.
Deformazioni residue impalcato 26° piano
Residual deformations of the 26th floor



la storia delle forze e i corrispondenti stati di sollecitazione e deformazione indotti dalla forzatura, anche in relazione al progetto della puntellazione e la scelta del tipo e portata dei martinetti. Nel prosieguo si illustrano le analisi e le procedure seguite per ottenere il raggiungimento di tale obiettivo.

Aspetti metodologici della fase di riallineamento

Obiettivi del riallineamento

Di fronte alla vistosa deformazione del 26° piano nella campata B [Figura 3], condizione preliminare necessaria per il risanamento era il recupero della configurazione orizzontale dell'impalcato. Infatti, solo nella configurazione orizzontale, una volta ricostruite le sezioni danneggiate e sigillate le fessure, poteva realmente risultare efficace, per restituire l'originaria portanza alle strutture, il sistema di rinforzo costituito da cavi post-tesi esterni alle travi.
Il raggiungimento del riallineamento delle travi presentava necessariamente notevoli difficoltà sia sul piano teorico concettuale che sul piano pratico esecutivo.
Innanzitutto, per quanto riguarda gli aspetti teorico-concettuali, occorre evidenziare che la difficoltà maggiore era costituita dalla valutazione, attraverso modelli teorici e numerici, della deformata finale da raggiungere, ossia della escursione in campo plastico da imporre alla struttura, con i carichi dei martinetti dal basso verso l'alto, tale per cui alla rimozione della forzatura, la struttura per effetto degli scarichi elastici raggiungesse la configurazione obiettivo.
Dal lato operativo, invece, la difficoltà maggiore era sicuramente legata al fatto di non disporre di 15+4 [Figura 4] martinetti a spostamento imposto.

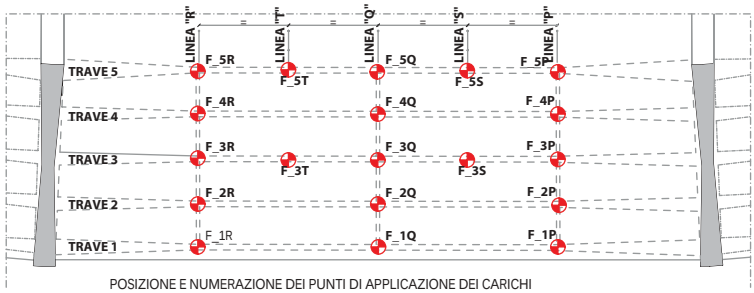
ments of 5-6 cm at the centre of beam 5, the most severely deformed one. The problem of realigning the beams of span B of the deck beams on the 26th floor [Figure 2] appeared to be of fundamental importance inasmuch as the initial intention was to attempt to preserve the existing structures.
With this in mind, it was essential to force the residual deformations downwards by using hydraulic jacks on a pack prop.
As the sequel of this article will show, achievement of this objective was made feasible by relying on plastic displacements set up in the opposite direction in relation to the situation remaining after the explosion, in such a way as to ensure that, upon relieving the pressure on the beams, they would then subside into the desired position (target configuration). Moreover, the reasoning was that it should be possible to arrive at a reliable estimate of the behaviour of the forces exerted and the corresponding stresses and deformations induced by forcing, among other things in relation to the pack-prop design and the choice of the type and the strength of the hydraulic jacks. The procedures followed in order to achieve this result will now be described and analysed.

Methodological Aspects of the Realignment Phase

Objectives of the Realignment

To cope with the spectacular deformation of the 26th floor of Span B [Figure 3], the initial requirement for the repair was to restore the horizontal configuration of the deck beams.
Indeed, only with the horizontal configuration, once the damaged sections had been reconstructed and the cracks sealed, could the reinforcing of the system consisting of the post-tension cables outside

4.
Posizione dei puntelli di forza
Pack-prop position



Stima numerica delle forze dei martinetti e procedura della fase di riallineamento

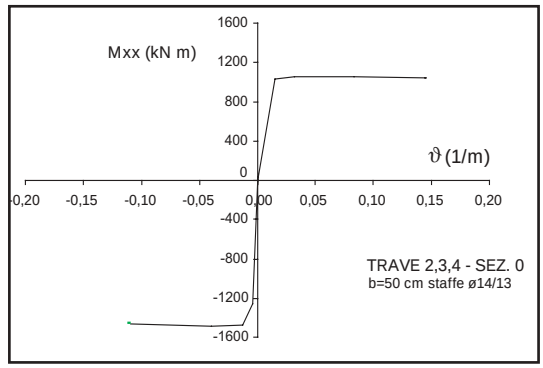
Ipotesi base per la costruzione del modello numerico

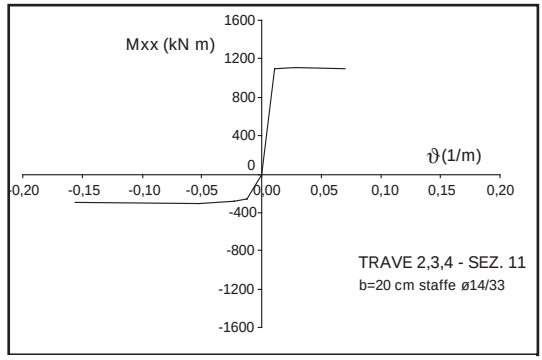
Una corretta modellazione numerica, data l'entità delle deformazioni avvenute, e quindi da recuperare, doveva necessariamente considerare sia la non linearità meccanica che la non linearità geometrica. In particolare, per la non linearità meccanica, a partire dai legami costitutivi dell'acciaio, per il quale si è potuto ipotizzare un legame costitutivo elastico perfettamente plastico, e del calcestruzzo, per il quale si è adottato un legame costitutivo del calcestruzzo confinato [4], si è valutato, per ciascun concio in cui si sono suddivise le travi, il legame M-ϑ momenti-curvature [Figura 5].

Modello numerico per l'analisi statica in regime non lineare

Il modello numerico è stato realizzato con l'ausilio del codice di calcolo STRAUS7.
In particolare, ciascun concio di trave, con cui si sono suddivise le travi (struttura discretizzata), è stato modellato con elementi beam, adottando i legami M-ϑ precedentemente determinati.
Elementi sempre tipo beam sono stati utilizzati per i traversi, mentre, per i setti verticali e la soletta di piano sono stati utilizzati elementi plate/shell [Figura 6].
Lo studio della risposta strutturale per effetto del riallineamento dell'impalcato è stato eseguito attraverso un'analisi statica non lineare. Incrementando le forze che simulano i martinetti a controllo di forze o i cedimenti imposti dai martinetti a controllo di spostamenti (a seconda del modello di carico), mediante un determinato numero di step,

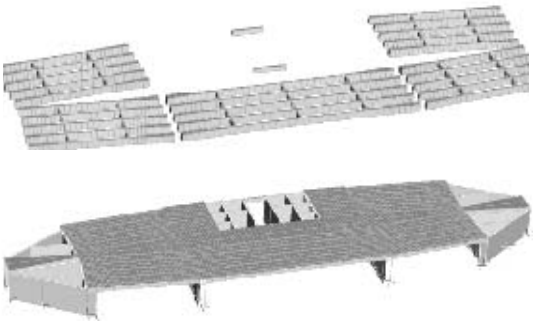
5.
Tipico legame M-ϑ (momenti-curvature)
Tipical M-ϑ law



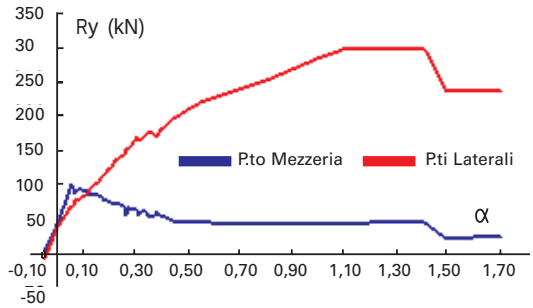


6.
Modello con discretizzazione delle travi
F.E. beams model

Modello degli elementi finiti dell'intero impalcato
F.E. model of full deck



7.
Leggi di carico
Load laws



si è portata la struttura a plasticizzazione con una configurazione deformata tale che allo scarico riuscisse a recuperare gli spostamenti fino ad ottenere il riallineamento prefissato.

Risultati delle elaborazioni numeriche

Il primo modello analizzato è quello di trave singola, ad esempio la trave 4, vincolata agli estremi con incastri e soggetta a cedimenti vincolari nei punti di intersezione con i tre traversi della campata centrale.
Ad ogni step i^{mo} i cedimenti imposti sono ottenuti come frazione percentuale del cedimento di progetto attraverso il fattore α. Al valore α=1, corrisponde il valore dello spostamento di progetto δ^P che si vuole ottenere in un determinato punto.
Imponendo gli spostamenti sono state ricavate le storie di carico [Figura 7] dalla lettura delle reazioni vincolari; si osserva che nel punto di forzatura centrale (martinetto che opera in mezzeria) la forza corrispondente alla storia di spostamenti imposto ipotizzata risulta, al massimo, circa 1/3 di quella dei punti di forzatura laterale. Si osserva inoltre che la somma delle forze per i tre punti di forzatura risulta compresa fra i 500 e i 650 kN.

the beams be really effective for restoring the original load capacity of the structures.
Achieving the realignment of the beams of necessity presented considerable difficulties, both from the theoretical point of view and in terms of practical execution.
Above all, as regards the theoretical and conceptual aspects, it has to be made clear that the greatest difficulty lay in the evaluation, by means of theoretical and numerical models, of the final deflection to be achieved: that is, the plastic deformation could be imposed on the structure, with the hydraulic jack loads working from the bottom up, in such a way that, with the removal of the imposed forces, the structure, due to the effect of elastic unloading, was able to reach the target configuration.
From the operational angle, on the other hand, the main difficulty certainly lay in the fact that no 15+4 [Figure 4] imposed displacement hydraulic jacks were available.

In alternativa si è analizzato un modello in cui ad essere imposta è una storia di carico. In particolare, si è studiato un modello numerico con uno schema di carico con tre forze uguali applicate in corrispondenza dei traversi con valore di partenza pari a 20 kN. Sono stati diagrammati gli spostamenti in funzione del fattore moltiplicativo dei carichi α [Figura 8].

Tali diagrammi, se confrontati con i risultati dell'analisi a controllo di spostamento, consentono di osservare che le storie di carico dei martinetti per il riallineamento, pur presentando andamenti piuttosto diversi tra di loro, confermano il valore del carico totale necessario per il riallineamento.

Analizzando i digrammi forza-spostamento [Figura 8] si possono sviluppare alcune considerazioni.

Innanzitutto, se si individua la pendenza iniziale per ciascuna delle due curve, si può avere una prima stima dell'andamento del ramo di scarico e del corrispondente valore del recupero elastico.

Ad esempio, nel caso in esame, se si pone come obiettivo il recupero della freccia plastica della sezione di mezzeria della trave 4, pari a circa 22 cm (circa 10 cm sui traversi), allora occorre raggiungere un carico in mezzeria di circa 140 kN (retta di scarico tratteggiata) a cui corrisponde uno spostamento di circa 24 cm (recupero elastico di soli 2 cm).

In realtà il recupero elastico di elementi in c.a. è sempre maggiore di quello ottenibile con tale ipotesi in quanto il ramo di scarico di elementi in c.a. è sempre caratterizzato da una rigidezza inferiore a quella della fase elastica di carico.

Ad esempio, se si sviluppa una elaborazione della fase di scarico con un modello numerico che tiene conto del comportamento del c.a. allo scarico, definito con il modello isteretico di Takeda [5], si può osservare che il ramo di scarico risulta molto più pendente (retta punteggiata in Figura 8).

In tal caso, anche se il valore della forza da applicare risulta poco diverso (circa 170 kN), per ottenere allo scarico il recupero della freccia plastica di 22 cm occorre raggiungere uno spostamento totale verso l'alto di circa 40 cm. In tal caso, risulterebbe un recupero elastico di circa 18 cm, ossia 9 volte quello ottenuto col modello con rigidezza iniziale al carico. Il dato comune ai due modelli è che il carico totale corrispondenti alle frecce plastiche da recuperare, risulta di circa (600-700 kN). Già sulla base di tali analisi è stato possibile stimare che il carico di forzatura totale per le 5 travi, necessario per rag-

Numerical Estimate of the Forces of the Hydraulic Jacks and Procedure for the Realignment Phase

Basic Assumption for the Construction of the Numerical Model

Correct numerical modelling, given the extent of the deformations that had taken place, which had therefore to be corrected, was bound to take into consideration both mechanical and geometrical non-linearity.

In particular, as regards mechanical non-linearity, starting with the structural steel binders, for which a perfectly plastic elastic binder could be assumed, and the reinforced concrete, for which a confined concrete link was used [4], the link M- ϑ bending moment was estimated in respect of each quoin into which the beams were subdivided [Figure 5].

Numerical Model for Static Analysis in the Non-linear State

The numerical model was made using the STRAUS7 computing code.

In particular, each beam quoin, into which the beams were subdivided (discrete structure) was modelled using *beam* elements and with the M- ϑ links previously established.

Beam components were again used for the transversal girders, while, for the seven shear walls and the floor slab, plate/shell components were employed [Figure 6].

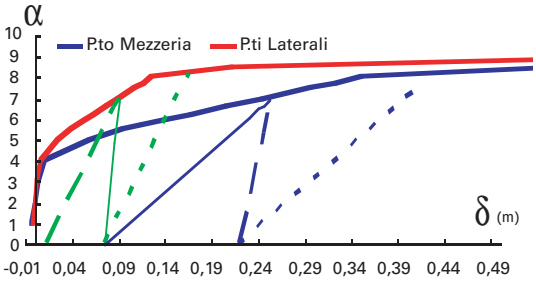
Research on the structural response due to the effect of deck beam realignment was carried out by non-linear static analysis. By increasing the forces simulating the *controlled force* hydraulic jacks or the displacements imposed by the jacks controlling the same (depending on the load model), by means of a given number of steps, the structure was brought to plasticization with a deformed configuration such that, after unloading, it was possible to restore the displacements until the planned realignment was obtained.

Results of the Numerical Processing

The first model analysed was that of the individual beam, for example beam 4, tied at its extremities with fixed ends and subject to supported displacements at the points of intersection with the three girders of the central span.

At each ith step, the displacements imposed were obtained as percentages of the design displacement via factor α. Corresponding to the value α =1 is the value of the design displacement δ^P, which it is

8.
Curve forza - spostamento con scarico
Force - displacement curve with unloading



giungere la configurazione obiettivo dovesse essere, cautelativamente, dell'ordine di 3500 kN.
Così pure, sempre sulla base di tali analisi, assumendo una pendenza di scarico intermedia fra le due descritte in precedenza, è possibile stimare in circa 10-12 cm lo spostamento verticale verso l'alto (per le sezioni di mezzeria), da aggiungersi allo spostamento permanente iniziale, affinché allo scarico dei martinetti si ottenga la configurazione obiettivo (circa 3-4 cm di monta finale permanente). Per le sezioni in corrispondenza dei traversi laterali, invece, la stima della maggiore escursione plastica è di circa 1-2 cm.
Un ulteriore modello per lo studio della fase di riallineamento è stato predisposto con riferimento alla struttura nella sua spazialità, tenuto conto delle condizioni al contorno per effetto delle preliminari demolizioni con apertura delle fessure lungo il perimetro della soletta. In tal caso, le elaborazioni numeriche, anche se con tempi di elaborazione maggiori, permettono di considerare le interazioni fra le travi. I risultati ottenuti confermano la stima della forzatura totale.

Procedura operativa del riallineamento
Descrizione del sistema di forzatura e di puntellazione

Come si è accennato, la forzatura è stata ottenuta con l'applicazione a ciascuna delle travi 1-2-3-4 e 5 di una forza posta in corrispondenza dei traversi [Figura 4], per un totale perciò di tre forze per ogni trave e quindi, complessivamente, di 15 punti di carico. A tali punti, in fase di sollevamento, si sono aggiunti altri 4 punti di forzatura applicati alle travi 3 e 5 [Figura 4]. In tutti questi punti

sought to obtain at a given point.
By imposing the displacements, the load histories [Figure 7] were obtained by reading the support reactions; it may be noted that, at the imposed central forces (the hydraulic jack operating in the centre) the force corresponding to the history of the imposed displacements is, at the most, about $^1/_3$ of that of the lateral forces. In addition, it may be noted that the sum of the forces for the three points is between 500 and 650 kN. As an alternative, an analysis was carried out of a model in which a load history is imposed. In particular, a study was made of a numerical model with a load pattern with three equal forces applied at the transversal girders with a starting value of 20 kN. Diagrams were made of displacements as a function of the load multiplication factor α [Figure 8].
These diagrams, compared with the results of the displacement analysis control, makes it possible to see that the load histories of the realignment jacks, while registering somewhat different trends from each other, confirm the total load value required for realignment.
If we analyze the force-displacement diagrams [Figure 8], the following considerations emerge. Above all, if we identify the initial slope for each of the two curves, we can obtain an initial estimate of the unloading branch trend and the corresponding value of the elastic recovery. For example, in the case in question, if we take as our objective the recovery of the plastic displacements in the middle cross-section of beam 4, equal to about 22 cm (about 10 cm on the girders), we have to reach a central load of about 140 kN (unloading indicated by dashed line), to which a displacement of about 24 cm corresponds (elastic recovery of only 2 cm). In reality the elastic recovery of reinforced-concrete parts is always greater than that obtainable on this assumption, inasmuch as the unloading branch of r.c. parts is always characterized by less stiffness than that of the elastic loading phase.
For example, if we develop by processing the unloading phase using a numerical model that takes into account the behaviour of the r.c. when unloading, defined by Takeda's hysteretic model [5], it will be noticed that the unloading branch hangs down much more (dotted line in Figure 8). In this case, even if the value of the force to be applied is not very different (about 170 kN), to obtain, when the unloading, the plastic displacement recovery of 22 cm, it is necessary to achieve

sono stati controllati in tempo reale gli spostamenti via via recuperati.
I puntelli di sicurezza sono stati previsti del tipo regolabili per poter seguire il sollevamento ottenuto passo-passo, anche ai fini di potere consentire il recupero della corsa dei martinetti posizionati secondo lo schema di figura 4 e collegati al sistema di alimentazione e controllo come illustrato in Figura 9.
La stima del carico totale di forzatura di circa 3500 kN, peraltro confermata nella fase di sollevamento, comporta un carico di contrasto per gli impalcati sottostanti (impalcati piani 25°, 24°, 23° e 22°) attivati dalla puntellazione, di circa 3500/4=875 kN, ovvero un carico distribuito di circa 875/251 m^2=3,5 kN/m^2, di poco superiore al carico di servizio (3,00 kN/m^2).
Cosicché, la puntellazione su ulteriori tre piani sottostanti, ha consentito di ripartire il carico di contrasto dei martinetti su quattro impalcati (25°, 24°, 23° e 22° piano) in modo da riportare il carico, per ciascun impalcato, a valori compatibili con i carichi di sevizio delle travi.

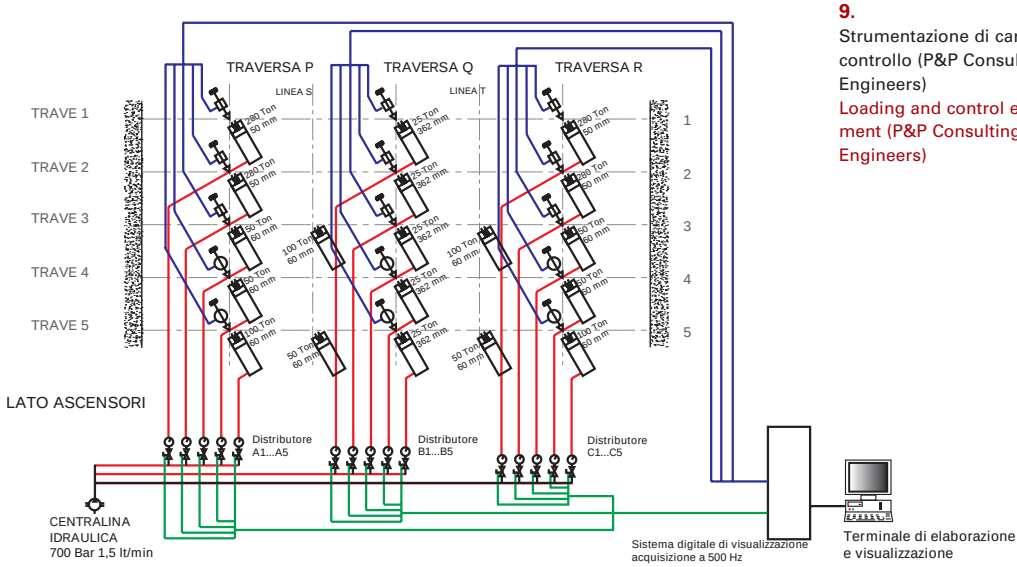
Attrezzatura per il carico e strumentazione di controllo

Per quanto riguarda le caratteristiche dell'attrezzatura utilizzata per attuare il sollevamento, si sono impiegati martinetti idraulici a singolo effetto alimentati tramite un distributore da un'unica centralina di pompaggio. Il circuito idraulico permetteva di disconnettere tutti i martinetti tranne uno o più di uno per i quali poteva essere variata la pressione secondo le esigenze [Figura 9].
Poiché la corsa dei pistoni dei martinetti non era sufficiente a coprire l'intero spostamento da recuperare è stato necessario recuperare la corsa dei martinetti introducendo degli spessori metallici [Figura 10].
Nella fase di ripresa della corsa dei pistoni il carico fornito dai martinetti veniva surrogato dall'attivazione dei puntelli regolabili. In generale, comunque, via via che si procedeva nel sollevamento i puntelli venivano regolati in modo da essere portati a contatto con la struttura.
La strumentazione di controllo degli spostamenti e delle forze applicate alla struttura era costituita da trasduttori di spostamento posti al piano superiore (in corrispondenza dei punti di carico), collegati ad una centralina di acquisizione digitale dei dati in grado di acquisire, con frequenza di campionamento

an upward displacement of about 40 cm.
In that case, the result would be an elastic recovery of about 18 cm, that is 9 times that obtained with the model with initial loading stiffness. The figure common to both models is that the total load corresponding to the plastic displacements to be recovered is about (600-700 kN). Based on this analysis, it was found possible to estimate that the total forcing load for the 5 beams required in order to reach the target configuration would, at a conservative guess, be about 3500 kN.
Likewise, again based on the same analyses, assuming an intermediate unloading gradient somewhere between the two already described, the vertical upward displacement (for the central sections) may be put at 10-12 cm, to be added to the initial permanent displacement in order to obtain the target configuration upon unloading the hydraulic jacks (about 3-4 cm permanent upward displacement). For the sections corresponding to the lateral girders, on the other hand, the estimate of the maximum plastic amplitude is about 1-2 cm.
Another model for researching the realignment phase was set up with reference to the spatiality of the structure, taking into consideration the boundary conditions due to the effect of the preliminary demolition work with the opening of the cracks along the floor perimeter. In this case, the numerical calculations, even when longer processing times are involved, make it possible to consider the interaction between the beams. The results obtained bear out the total forcing estimate.

Realignment Operating Procedure Forcing System and Pack Prop

As stated, the forcing was obtained by means of the application to each of the beams 1-2-3-4 and 5 of a force set to correspond to the transversal girders [Figure 4], for a total, therefore, of three forces for each beam and thus 15 loading points altogether. To these points, during hoisting, 4 extra forcing points were applied to beams 3 and 5 [Figure 4]. At all these points, checks were carried out in real time on the displacements as they were gradually recovered.
The security pack props were made adjustable to be able to follow the hoisting process step by step, as well as to make it possible to keep to the course followed by the hydraulic jacks, positioned in accordance with the layout in Figure 4 and connected to the feed and control system as shown in Figure 9.



9.
Strumentazione di carico e di controllo (P&P Consulting Engineers)
Loading and control equipment (P&P Consulting Engineers)

LEGENDA SIMBOLI	
	CILINDRO A SEMPLICE EFFETTO
	VALVOLA DI INTERCETTAZIONE
	GRUPPO DI MISURA: MANOMETRO + CELLA DI PRESSIONE
	GRUPPO POMPA
	TRASDUTTORE DI SPOSTAMENTO CORSA 500 mm RISOLUZIONE 0,05 mm
	TRASDUTTORE DI SPOSTAMENTO CORSA 500 mm RISOLUZIONE 0,01 mm
	LINEA IDRAULICA DI ALIMENTAZIONE
	CABLAGGIO CELLE DI PRESSIONE
	CABLAGGIO TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO

di 500 Hz, i segnali elettrici dei vari sensori e di restituire in tempo reale l'andamento delle grandezze misurate. Inoltre, per il controllo delle deformazioni dei piani collaboranti per effetto della puntellazione, sono stati posizionati dei comparatori centesimali in corrispondenza della mezzeria delle travi 4 e 5 dell'impalcato del piano 24°, ed è stata eseguita una lettura ottica dello spostamento della sezione di mezzeria della trave 4 dell'impalcato del 23° e 22° piano.

Sequenza di carico ed effetti sulle strutture

La fase di sollevamento è durata circa 30 ore (tre giornate), durante le quali, con continuità, sono stati acquisiti i dati relativi agli spostamenti e alle intensità dei carichi applicati nei diversi punti, distinti per ciascuna trave, nonché l'andamento temporale dei carichi totali applicato alla struttura.

The estimate of the total forcing load of about 3500 kN, confirmed, incidentally, by the hoisting phase, involves an offset load for the deck beams located below (beams on the 25th, 24th, 23rd, and 22nd floors), activated by pack prop, of about 3500/4=875 kN, that is, a distributed load of about 875/251 m^2=3,5 kN/m^2, slightly higher than the service load (3,00 kN/m^2).
Thus the pack prop system on another three lower floors made it possible to distribute the offset load of the hydraulic jacks over the four deck beams (on the 25th, 24th, 23rd, 22nd floors) in such a way as to give the load for each deck beam a value compatible with the service loads.

Equipment for Loading and Control Instruments

With regard to the characteristics of the equipment used for the hoisting, single-effect hydraulic jacks were used, supplied by a distributor from a single pumping-station.
The hydraulic circuit made it possible to disconnect all the hydraulic jacks with one or more exceptions, for which the pressure could be varied according to requirements [Figure 9].
Since the stroke of the hydraulic jack pistons was

La durata così elevata della fase di sollevamento è sostanzialmente riconducibile al fatto che la tipologia dei martinetti disponibili era così diversa che l'apertura del circuito idraulico contemporaneamente avrebbe prodotto forze notevolmente diverse fra di loro. Tale limitazione ha determinato la necessità di procedere all'applicazione della forzatura procedendo trave per trave, dove era comunque garantita la possibilità di procedere con carico simmetrico (almeno i due martinetti posti sui traversi laterali erano di uguale tipologia e quindi potevano produrre contemporaneamente due forze uguali). Il processo di carico ha subìto così una dilatazione temporale notevole. A favore c'è stato il fatto che procedendo per singola trave si è avuto modo di controllare degli step di carico molto contenuti con il risultato di una più efficace possibilità di guidare il processo stesso. Il programma di forzatura è stato impostato in modo da procedere con l'applicazione della forzatura a partire dalle travi più deformate (travi 5, 4 e 3) per poi procedere, sempre forzando trave per trave, con step che permettessero di procedere con recuperi delle frecce tali da limitare al massimo l'impegno dei traversi.
Nelle Figure 11 e 12 sono riportati, rispettivamente, un esempio di monitoraggio dei valori dei carichi e un esempio di monitoraggio degli spostamenti recuperati per la trave 4 in alcuni step significativi della fase di riallineamento.
In particolare, nella Figura 12, sono riportate le deformate corrispondenti alla massima deformata raggiunta, la quale è confrontata sia con la deformata iniziale che con quella obiettivo.
Nella Figura 13 sono evidenti le plasticizzazioni (cerniera plastica) delle barre patite per effetto dell'incidente ed evidenziatesi in fase di riallineamento. Tale circostanza ha reso necessario, per le travi 4 e 5, procedere al taglio di tali gomiti e successiva saldatura di spezzoni di barre ø26 per ricostruire la continuità delle barre e quindi della sezione di calcestruzzo. Durante tali fasi la struttura è stata congelata nella configurazione obiettivo mediante i puntelli regolabili ai quali, per effetto degli indebolimenti dovuti alle demolizioni e al taglio delle armature, è stato trasferito la quasi totalità del peso proprio delle strutture. Era quindi plausibile attendersi che alla rimozione dei puntelli, intervenisse il peso proprio della struttura, che anche se applicato alla struttura risanata è tale da produrre degli spostamenti in mezzeria dell'ordine dei 2 cm. A ciò si aggiunge che sulla struttura dovevano ancora agire

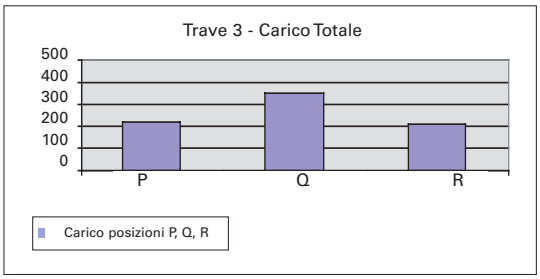
10.
Martinetti e puntelli regolabili
Idraulic jack and adjustable pack-prop

not sufficient to cover the entire displace-ment to be recovered, it was necessary to retrace the course followed by the jacks by inserting metal spacers [Figure 10 ›].
In the process of resuming the course followed by the pistons, the load supplied by the jacks was replaced by setting in motion adjustable props.
In general, however, as the hoisting process proceeded, the props were adjusted in such a way as to bring them into contact with the structure.
The instrumentation for controlling the displacements and the forces applied to the structure consisted of displacement transducers positioned on the upper level (corresponding to the loading points), connected to a digital data acquisition system capable of acquiring, with a 500 Hz sampling frequency, the electric signals of the various sensors and of picking up the rhythm of the magnitudes measured in real time. In addition, in order to control the deformations of the levels working together due to the effect of the pack propping, centesimal comparators were positioned at the centre of beams 4 and 5 of the 24th floor, and an optical reading was taken of the displacement of the central section of beam 4 of the 23rd and 22nd floors.

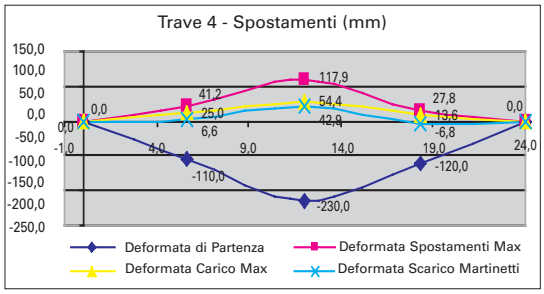
Loading Sequence and Effects on Structures

The hoisting phase lasted about 30 hours (three days), during which, continuous, data were acquired regarding displacements and the applied load intensities at the various points for each beam separately, as well as the timing of the total loads applied to the structure.
Such a long duration of the hoisting phase was

11.
Esempio di monitoraggio delle forze applicate
Monitoring of applied load steps values



12.
Esempio di spostamenti recuperati con la fase di sollevamento
Recovered displacements with the realignment phase



i carichi permanenti del massetto. Tutto ciò considerato si comprende che una configurazione con una leggera monta verso l'alto poteva essere ritenuta soddisfacente l'obiettivo che il progetto si è posto per la fase di riallineamento.

Conclusioni

Il presente lavoro ha illustrato i problemi e le tecniche operative per il riallineamento delle travi del solaio del 26° piano dell'edificio Pirelli. In particolare sono stati affrontati i seguenti punti:

• la stima, mediante modelli numerici in regime non lineare, delle forze massime da applicare

mainly to be attributed to the fact that the types of jack available were so different from each other that opening the hydraulic circuit at the same time would have produced widely differing forces.
This limitation led to the need to apply the forcing technique beam by beam while making sure it would be possible to proceed with a symmetrical load that is, at least two jacks arranged on the lateral girders would have to be of the same type and therefore produce equal forces at the same time. The loading process was thus greatly prolonged. On the plus side was the fact that by operating beam by beam it was possible to keep a check on strictly limited loading steps, thus achieving more effective control of the process itself. The forcing program was accordingly set up in such a way as to apply the forcing starting with the more deformed beams (beams 5, 4 and 3) and then to proceed, again with beam-by-beam forcing, in steps that made it possible to recover displacements, at the same time limiting as far as possible the strain on the girders.
In Figures 11 and 12, respectively, we find examples of the monitoring of load values and of the displacements, recovered for beam 4 in a few steps that were significant for the realignment phase.
In particular, in Figure 12, we see the deflection configurations corresponding to the maximum deflection achieved, which is compared both with the initial one and with the target configuration.
Figure 13 shows the plasticization (plastic hinge) of the of the bars damaged by the accident that was in evidence during the realignment phase.
This circumstance made it necessary, for beams 4 and 5, to cut elbow pieces and subsequently to weld bar sections 26 cm in diameter to restore the continuity of the bars and therefore of the r.c. sections. During these stages, the structure was locked within the target configuration by means of adjustable props to which, due to the weakening effect of the demolitions and the cutting of the falsework, almost the whole weight of the structures was transferred. It was therefore only to be expected that, when the props were removed, the structure's own weight would come into play, which, even if applied to the repaired structure, is such as to produce displacements of approximately 2 cm in the centre. To this must be added the fact that the concrete layers under the floor also weighed on the structure. Taking all this into consideration, it is easy to understand how a configuration with a

all'impalcato;
• la stima mediante modelli numerici in regime non lineare degli spostamenti totali verso l'alto necessari affinché allo scarico la struttura raggiungesse la configurazione obiettivo;
• il controllo e gestione in tempo reale dell'evoluzione degli spostamenti in relazione ai carichi di forzatura applicati.
La soluzione tecnica di quest'ultimo aspetto ha trovato nella P & P Consulting Engineers - ISMES - LMC un esperto e indispensabile supporto per la messa in pratica del sollevamento dell'impalcato nei tempi ristretti (prima settimana di Agosto 2003) che la committenza aveva richiesto.
Si ringrazia l'Ingegnere Alfonsina di Fusco per il contributo allo sviluppo dei modelli numerici in campo non lineare.

13.
Danneggiamenti emersi nella fase di riallineamento sezioni di mezzeria (travi 4 e 5)

Middle sections damages showed after realignment phase (beams 4 and 5)

slight upward gradient came to be considered a desirable objective for the project during the realignment phase.

Conclusions

This article has described the problems and operating techniques involved in realigning the beams on the 26th floor of the Pirelli skyscraper.
The following specific points have been considered:
• An estimate, using numerical models in non-linear analysis, of the maximum forces to be applied to the deck beams;
• An estimate, using numerical models in non-linear analysis, of the total upward displacements required for the structure, when being unloaded, to reach the target configuration;
• Control and management in real time of the displacements in relation to the forcing loads applied.
The technical solution for the latter aspect was accomplished thanks to expert and indispensable assistance from P& P Consulting Engineers - ISMES-LMC, especially when it came to hoisting the deck beams in accordance with the strict time-schedule (deadline: first week in August 2003), requested by the client.
Our thanks go to the Engineer, Alfonsina di Fusco, for her contribution to the development of the numerical models for the non-linear analysis.

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

[1]
A. Migliacci, M. Acito - La Vicenda del grattacielo Pirelli – il restauro, Mancosu Editore Roma, 2003

[2]
A. Migliacci, M. Acito, A. Franchi– Il progetto di risanamento delle strutture del grattacielo Pirelli. del grattacielo Pirelli –Studies and Researches V. 24, Italcementi S.p.A., Bergamo – 2004

[3]
M. Acito, A. Migliacci – Il progetto di risanamento strutturale dell'impalcato del 26° piano del grattacielo Pirelli - Congresso AICAP – VERONA 2004

[4]
Park R., et Altri (1992), Ductility of Square Confined Concrete Columns, Jornal of the Structural Division, ASCE Vol.108 n°ST4. April1982, pp.929-950

[5]
Takeda T., et Altri, Response concrete response to simulated earthquakes Journal of structural division, ASCE, Vol. 96, No. ST12, December

Luigia Binda
Giulia Baronio
Giuliana Cardani
Antonella Saisi
Cristina Tedeschi
Claudia Tiraboschi

Indagini in situ e in laboratorio sui materiali e sulle strutture della Cattedrale di Noto

On site and laboratory investigation on the remainings of the Cathedral of Noto

Introduzione

La Cattedrale di Noto venne edificata dopo il terremoto che colpì la Sicilia orientale nel 1693. Presentava un impianto basilicale a croce latina a tre navate con un profondo presbiterio ed era sovrastata da una cupola su alto tamburo poggiante su quattro archi all'innesto della navata centrale nel transetto. Il 13 marzo 1996 (sei anni dopo l'ultimo terremoto) l'intera navata centrale, i pilastri e buona parte della navata destra e della cupola collassarono (3.610 m^3 di rovine) mentre la facciata e le murature perimetrali rimasero intatte [Figura 1].

Scopi dell'indagine

L'indagine condotta nel 1998 ha riguardato [1, 2, 3]: (i) uno studio basato sui rilievi dello stato di danno per valutare: la possibilità di conservare l'ordine sinistro dei pilastri della navata centrale, opportunamente riparati e consolidati; la possibilità di consolidare le murature e i pilastri perimetrali mediante la tecnica di iniezione di miscele; (ii) analisi di laboratorio per indagare attraverso la caratterizzazione dei materiali (composizione, comportamento meccanico e fisico) il loro ruolo nelle cause del collasso e fornire agli ingegneri strutturali le caratteristiche meccaniche della muratura e dei suoi componenti (resistenza, modulo elastico, ecc.), per implementare modelli di calcolo. Scopo delle analisi di laboratorio era anche definire le caratteri-

Introduction

The Cathedral of Noto was built after the earthquake which hit the eastern part of Sicily in 1693. Its plan was a three nave basilica structure. A dome resting on a tall drum was supported by four large arches at the centre of the transept. On March 13 1996 (six years after the last earthquake) the central and part of the right lateral nave collapsed together with a large part of the dome [Figure 1] (3,610 m^3 of ruins) while the facade in a beautiful baroque style, as it was the whole church, remained intact.

Aims of the investigation

The investigation carried out in 1998 concerns [1, 2, 3]: (i) a study based on site survey concerning the state of damage of the remaining pillars of the central nave and the possibility of preserving them by appropriate strengthening and repair, the possibility of consolidation of the walls and of the pillars by the grout injection technique; (ii) laboratory investigation to detect, through the characterisation of the materials (their composition and their mechanical and physical behaviour), their role in the causes of the collapse and to provide the structural engineers the mechanical properties of the masonry and of its components (strength, elastic moduli, etc.) for the implementation of the structural models. The aim of laboratory analyses was also to define the characteristics of the new materials for reconstruction and repair and the more adequate techniques for the intervention.
The time given to the Laboratory for the whole investigation was 60 days.

On site investigations

Survey on the foundations

The different type and the depth of the foundations of the pillars and walls were surveyed by excavation in strategic sites near the pillars. The foundations were built with regular courses of round river stones; they seemed to have enough load carrying capacity for the weight of the above structures.
The soil was a sort of natural compact silt and clay thick layer.

Survey of the masonry sections and of the wall connections

The removal layer by layer of the components of the collapsed pillars allowed to understand the poor technique of construction used [4]. Layers of

stiche dei nuovi materiali da impiegare nella ricostruzione ed individuare le tecniche di intervento più adeguate. Il tempo concesso al Laboratorio Prove Materiali del Diparimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico per le prove è stato di 60 giorni.

Indagini in situ

Indagini sulle fondazioni

Le fondazioni, di diverso tipo e profondità, sono state rilevate attraverso scavi locali a ridosso dei pilastri. Realizzate con corsi regolari di ciottoli di fiume, la loro capacità portante è apparsa sicuramente sufficiente per il peso delle strutture che dovevano portare. Il terreno di fondazione è costituito da una sorta di limo e argilla molto compatti.

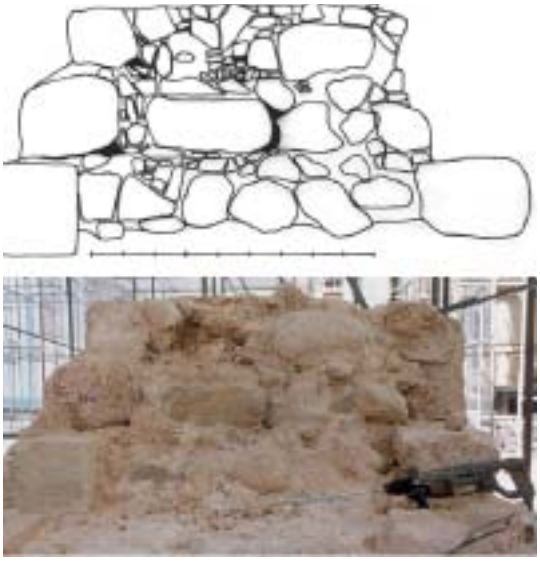
Rilievo delle sezioni murarie e delle connessioni tra paramenti

La rimozione a strati dei resti di uno dei pilastri collassati, ha permesso di individuare la povertà della tecnica di costruzione [4]. Mentre i paramenti esterni dei pilastri erano costituiti da blocchi di calcarenite alla base (fino a 1,5 m) e di travertino nella parte superiore fino ai capitelli, l'interno era costituito da strati di grossi ciottoli di fiume alternati con giunti molto spessi di malta in apparenza molto povera, fessurata e contenente un aggregato molto fine, tendenzialmente polverulento [Figura 2]. Le connessioni tra i paramenti esterni e l'interno del pilastro erano praticamente inesistenti ed il paramento in travertino si è rivelato molto poroso, con prevalenza di grandi vuoti e poco resistente. Un ulteriore indebolimento delle sezioni era causato dalla presenza di nicchie in ogni pilastro e di un pulpito scavato nell'ultimo pilastro della navata prima del transetto, probabilmente quello maggiormente danneggiato.
Smontaggi locali, carotaggi ed endoscopie realizzate nelle murature perimetrali e dell'abside hanno consentito di osservare che tali murature erano state costruite in modo simile, ma più accurato. Infatti le pietre utilizzate all'interno della sezione sono più piccole, ottenute a spacco ed alternate a giunti di malta più resistente di quella utilizzata per i pilastri. I pilastri addossati alle murature sono ben connessi alla muratura stessa. Anche gli speroni utilizzati come contrafforti nella parte alta della chiesa, aggiunti in tempi successivi alla costruzione sono costruiti con una tecnica migliore, simile a quella delle murature. Una caratteristica diffusa nelle

1.
L'interno della Cattedrale dopo la rimozione delle rovine
The interior of the Cathedral after the ruins were removed

large round river stones with thick mortar joints, where the mortar appeared very weak and dusty were found in the core of the elements [Figure 2], surrounded by an external leaf made with regular blocks of calcarenite for the base of the pillar (up to 1.50 m) and of a sort of travertine in the upper part. The connections between the external and the internal leaves were missing and the travertine leaf was highly porous with large voids.
Another negative aspect of the structure was the presence of niches in each pillar at a certain height and the presence of a pulpit excavated in the last pillar of the nave before the transept, which pro-

2.
Studio della morfologia delle sezioni a) restituzione grafica b) ripresa fotografica
Survey of the section of the pillars: a) graphical restitution b) photo



strutture della Cattedrale (e in altre costruzioni in Noto) è la presenza di numerose buche pontaie che a volte attraversano completamente l'elemento strutturale.

Rilievo del quadro fessurativo dei pilastri dell'ordine sinistro della navata centrale

I pilastri dell'ala non crollata presentavano uno stato fessurativo diffuso che poteva essere stato causato dal danno dovuto al crollo della parte opposta. Infatti le travi del solaio in laterocemento di copertura hanno certo contribuito al mantenimento della connessione tra le strutture della navata centrale fino al momento del crollo. Pertanto il danno ha senz'altro interessato anche i pilastri di sinistra. Allo scopo di studiare l'entità del danno e la profondità delle fessure, dai pilastri è stato rimosso a campione parte dell'intonaco risalente agli anni '50.

bably was bearing the highest damage.
Small demolitions and coring and boroscopy were carried out also in the lateral walls and in the apse. The walls were built in a similar way; nevertheless the internal part was made with smaller sharp stones alternated with a slightly stronger mortar. There is a good connection between external walls and built-in pillars. Also the buttresses of the highest part of the nave, built successively to the Cathedral construction were made with a better technique, similar to the one of the walls. Nevertheless a common characteristic of pillars and walls (as observed in other constructions in Noto) is represented by the frequent presence of scaffolding holes crossing the whole section of the masonry.

Survey of the crack patterns of the remaining piers of the central nave left part

The pillars of the left side of the central nave showed diffused cracks which could have been caused by the collapse of the right side. In fact if the flat roof beams in reinforced concrete had contributed in keeping the central nave structure connected together during the collapse they certainly could have caused damage to the left pillars.
In order to study better that damage and to see the depth of the cracks it was decided to remove samples of the renderings which had been made in the fifties. The cracks which could be seen on the rendering went deep inside the pillars and the fissuration appeared diffused starting from the top of the base until approximately the mid and also beyond the mid of the pillars. Some cracks were wide and deep beyond the external stone leaf. Other cracks had been filled with the gypsum mortar of the rendering, showing that they already existed at the moment when the rendering was made, that is in the fifties [Figures 3 a e b]. These observation showed clearly that a continuos damage in compression was already present at least 40 years before the collapse.

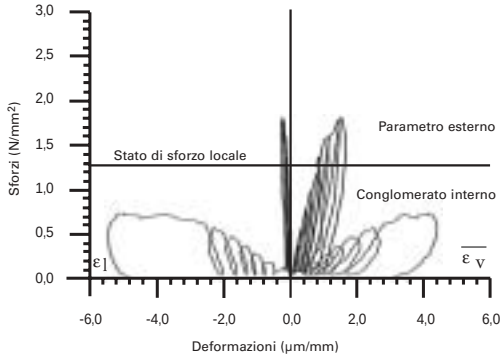
On site flat-jack tests

The aim of the tests were to define: (i) the state of stress on the external leaves at the bottom of a pillar, (ii) the masonry characteristics of the external and of the internal leaf of the pillars and of the external walls. It is possible to observe the different behaviour of the internal and external part of the piers and that the stress due to the dead load of the

3.
Rilievo del quadro fessurativo dell'ordine sinistro dei pilastri, con rimozione dell'intonaco alla ricerca di eventuali fessure nascoste anteriori al crollo
Crack pattern survey of the left pillars of the central nave; the plaster was removed in order to find eventual hidden cracks previous to the collapse

a. b.

4.
Risultati delle prove con martinetti piatti sui pilastri
Results of the flat jack tests carried out on the pillars



La fessurazione, in parte già notata prima della rimozione dell'intonaco, è risultata diffusa prevalentemente al di sopra della base e fino a circa metà altezza del pilastro ed anche oltre. Alcune fessure sono ampie e profonde, oltre il paramento in pietra, altre appaiono sigillate con la malta di gesso dell'intonaco, a dimostrazione che esistevano già al momento della stesura dell'intonaco negli anni cinquanta [Figura 3 a e b]. Queste osservazioni mostrano chiaramente che un progressivo danneggiamento per compressione era già presente almeno 40 anni prima del collasso.

Prove in situ con martinetti piatti

Scopo delle prove era definire lo stato di sforzo sul paramento esterno alla base di un pilastro e le caratteristiche meccaniche della muratura in corrispondenza del paramento esterno e del conglomerato interno. Dai risultati [Figura 4] è possibile osservare la differenza di comportamento tra l'esterno e l'interno dei pilastri ed anche che lo stato di sforzo dovuto a semplice peso proprio del pilastro supera i valori limite della parte interna.
Tre prove con martinetto doppio sulla muratura esterna hanno confermato che tale muratura ha

pier is already greater than the strength of the interior [Figure 4]. Three double flat-jack tests performed on the external not loadbearing walls of the Cathedral confirmed that the wall masonry is similar to the rubble masonry inside the piers, even if its stiffness is higher.

Sonic tests

The tests were carried out in transparency at different heights of the left piers where the steel confinements allowed the access [Figure 5]. The sonic velocity values at the base of the piers where the calcarenite was used had an average value of 1,500 m/s; above the base where a sort of *travertine* was used were down to an average of 500m/s. In fact the travertine having a low density due to the large voids in its structure has also a low strength 5 N/mm^2 against 18 N/mm^2 of calcarenite. Presence of voids and /or cracks are also confirmed by the radar tests [5] carried out on remaining pier bearing the dome; this test could be performed with great difficulty due to the presence of high humidity inside the pier up to a level of 3.00m.

caratteristiche simili al conglomerato interno dei pilastri, anche se la sua rigidezza è superiore.

Indagini soniche

Le prove sono state eseguite per trasparenza a varie altezze dei pilastri dove la presenza delle cerchiature non impediva l'accesso diretto alla muratura [Figura 5].
I valori di velocità nella parte bassa del basamento, realizzato in calcarenite, si aggirano intorno ai 1500m/s mentre nelle parti alte in travertino i valori possono scendere a 500m/s. Il travertino ha infatti una densità minore di quella della calcarenite, dovuta alla presenza di grandi vuoti all'interno della pietra stessa e una minore resistenza a compressione, pari a 5 N/mm^2 contro i 18 N/mm^2 della calcarenite.
Presenze di vuoti e/o distacchi sono confermate anche dalle prove radar [5] che tuttavia si sono potute eseguire con molta difficoltà data la presenza di elevata umidità soprattutto alla base di muri e pilastri.

Analisi di laboratorio

In collaborazione con i progettisti e gli ingegneri strutturali, in accordo con il modello matematico assunto, si era scelto di caratterizzare una sezione trasversale della cattedrale oltre ai materiali costituenti i pilastri, l'abside, le murature laterali e la cupola.

Malte dei pilastri e delle murature

Dalle analisi chimiche è risultato che le malte dei pilastri e delle murature erano state confezionate con legante a base di calce aerea e aggregato calcareo. La sabbia non si presenta ben distribuita in una ampia curva granulometrica, ma ristretta a una scarsa frazione di diametri grossi (più di 10 mm) e un'elevata frazione di materiale molto fine attribuibile al fatto che la sabbia proviene da calcareniti porose, tenere e facilmente friabili. L'eccessiva finezza dell'aggregato causa elevata richiesta d'acqua durante la preparazione della malta e produce una malta molto porosa, poco resistente e con elevato ritiro. La malta delle murature esterne ha una composizione simile a quella dei pilastri, la loro tecnica costruttiva è però molto diversa: la malta all'interno dei pilastri della navata centrale presenta scarsa adesione ai grossi massi di tipo fluviale di superficie liscia e grandi dimensioni.
Una maggior superficie di contatto della malta con

Laboratory Analyses

It was decided in collaboration with the designers and the structural engineers and according to the assumed mathematical models, to characterise the materials of a transversal section of the Cathedral . Furthermore the materials of the pillars, apse, lateral walls, arches and dome were also studied.

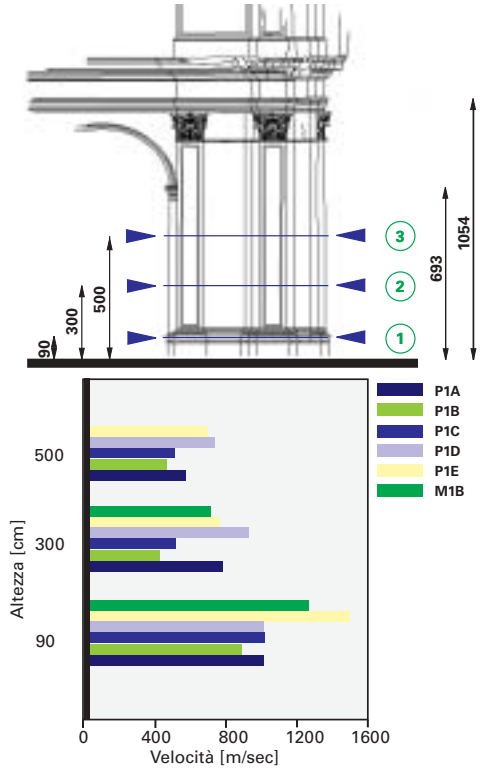
Mortars from pillars and walls

The chemical analyses show that the mortars of the pillars and of the walls were all made with hydrated lime and calcareous aggregates. The grain size of the aggregate is not well graded as are present few large aggregates (diameter more than 10 mm) and a high percentage of very fine grains. This high quantity of fine grains is due to the fact that the aggregates come from a very porous calcarenite, soft and friable. The excessive fineness of aggregate causes a high request of water during the mortar preparation and produces a very porous mortar with high shrinkage and low strength.
The mortars of the external walls have a composition similar to the one of the pillars. Nevertheless even if the mortars are weak, the technique of construction is very different. In the internal part of the central nave pillars the mortar has a very low adhesion to the stones due to the fact that they are round and smooth and also to the fact that the contact surface mortar-round stones is lower than the mortar-sharp small stones surface.
Furthermore the roughness of the sharp stones is higher, hence the bond is better [6].

Characterisation of the stones

Four main types of stones were used in the construction of the Cathedral: 1) calcarenite, used as regularly cut blocks in the external leaf of pillars and built-in columns, but only for the base, but also used for the internal leaves as sharply cut pebbles; 2) travertine, used as the calcarenite, but in much larger quantities in the external and internal leaf of the pillars and built-in columns; 3) *giuggiolena* a sort of compact travertine used for arches and dome voussoirs; 4) the round river stones used in the internal part of the pillars. The optical and chemical analyses confirm that the materials used are mainly different types of lime stone with fine grain size. They contain a high percentage of fossils which is typical of the local stone called *Noto stone*. The physical tests indicate that the stones have high absorption, rather low bulk density and therefore

5.
Indagini soniche a diversa altezza nei pilastri
Sonic test at different heights of the pillars



pietre di dimensioni inferiore e la maggior rugosità della pietra garantiscono una migliore coesione della malta e della pietra nelle murature perimetrali [6].

Caratterizzazione della pietra

All'interno della Cattedrale sono stati individuati essenzialmente quattro tipi di pietra: 1) calcarenite, usata soprattutto in blocchi squadrati nel paramento esterno alla base dei muri e dei pilastri, ma usata anche negli strati interni; 2) travertino, utilizzato come la calcarenite, ma in maggior quantità nel paramento esterno e all'interno del fusto dei pilastri e delle murature; 3) giuggiolena, una specie di travertino compatto, utilizzata negli archi e nella cupola; 4) massi fluviali usati all'interno di pilastri. Le analisi ottiche e chimiche hanno confermato che i materiali usati sono tutti di tipo calcareo a grana fine e con elevata porosità, contenenti un'elevata percentuale di fossili, tipica della pietra locale denominata *pietra di Noto*. Le analisi fisiche indicano un elevato assorbimento d'acqua e un basso valore di massa volumica che determinano quindi una resistenza e durabilità non molto elevate.
La calcarenite è caratterizzata da una resistenza meccanica relativamente buona a secco (18,0 N/mm^2 a compressione, 2,16 N/mm^2 a trazione) ed una resistenza allo stato di saturazione in acqua, ridotta del 35,5% a compressione e del 39% a trazione. Questa è un'informazione di rilievo se si pensa all'elevato livello di risalita capillare trovato nella parte bassa delle strutture.

Prove di iniettabilità dei pilastri e delle murature

Sono state eseguite prove di iniettabilità di diverse miscele in due pilastri tronchi e in un pilastro del muro perimetrale destro, in aree di 500 x 500 mm. Scopo delle prove è stato quello di studiare l'iniettabilità di quattro diverse miscele nelle murature e

they will not have a very high strength and durability. The calcarenite is characterised by a fairly good strength when tested dry up to constant mass (18.0 N/mm^2 in compression, 2.2 N/mm^2 in tension) and by a 35-40% lower strength, when tested saturated up to constant mass. This is a very important information taking into account the high level of the capillary rise of water found in the lower part of the structure.

Grout injectability tests in piers and walls

Small areas (500x500mm) of the external surface of the remaining of two pillars and of the built-in pillar of the external wall of the Cathedral were chosen for injectability sample tests. The aim of the tests was to study the possibility of applying the technique of repair by grout injection to the walls and to the damaged pillars of the left side of the central nave. The reasons for using the grout injection were: to repair cracks and voids caused by the collapse, to strengthen the internal part of the pillars where the mortars were very weak. Four different grouts were tested. The injectability was controlled during the injection by measuring the injected grout quantity and by repeating the sonic tests

nei pilastri e, soprattutto, di individuare l'efficacia delle iniezioni come tecnica di riparazione delle fessure ed eventualmente di rinforzo della parte interna, contenente malte molto deboli. L'iniettabilità ed il comportamento delle miscele sono stati esaminati sia durante l'iniezione, quantificando il materiale penetrato, sia ripetendo indagini soniche prima e dopo l'iniezione, sia smontando le parti iniettate per verificare la diffusione della miscela.
Le indagini hanno mostrato l'efficacia di tutte le miscele, ad eccezione di una, caratterizzata da scarsa *iniettabilità*. Nonostante l'efficacia delle miscele nel riempire cavità e sigillare fessure sottili, non si è verificato alcun miglioramento nelle caratteristiche della malta, povera e non iniettabile.
L'iniezione di miscele può quindi essere effettuata con successo nelle murature e nei pilastri esterni, ma non per rinforzare i pilastri della navata centrale. Le indagini soniche condotte dopo l'iniezione hanno evidenziato un miglioramento non sempre rilevante delle caratteristiche della muratura.

Conclusioni

Alla fine dell'indagine in situ ed in laboratorio sono state date ai progettisti le seguenti risposte:
• il crollo parziale della Cattedrale è avvenuto non solo in seguito ai danni provocati dal terremoto del 1990, ma anche a causa delle condizioni già precarie dei pilastri;
• considerando i risultati delle indagini in sito e in laboratorio, la povertà della tecnica costruttiva, dei materiali utilizzati, l'assenza di collegamenti tra paramento esterno e interno dei pilastri, si può confermare che il danneggiamento di questi pilastri fosse già presente negli anni cinquanta;
• le murature d'ambito, gli archi e le cupole che presentano una buona tecnica costruttiva possono essere conservati riparando i danni con iniezioni ed eventuali rinforzi; è possibile per essi applicare tecniche di iniezione con materiali molto fini, opportunamente scelti;
• la parte bassa dei pilastri di sinistra non può essere conservata né riparata a causa della cattiva tecnica di costruzione e dei cattivi materiali impiegati. Tali pilastri dovranno essere pertanto demoliti e ricostruiti allo stesso modo di quelli collassati. Infatti, una volta ricostruiti i pilastri crollati, quelli rimasti, anche se dovessero essere riparati e rinforzati, darebbero sempre origine ad una struttura non simmetrica per tipo e qualità dei materiali. La demolizione e ricostruzione dei pilastri di sini-

before and 28 days after the injection and removal of the external leaf in order to check the injection diffusion. The investigation carried out showed that apart from one grout, characterised by very low injectability, all the others grouts were effective. Nevertheless the grouts are successful in filling voids and even thin cracks, but they do not improve the behaviour of a weak mortar because the mortar cannot be injected. Therefore the grout injection can be successful for the external walls and piers, but not to strengthen the central nave piers. The sonic tests carried out after injection gave evidence of some improvement in the masonry characteristics, but not so much exciting.

Conclusions

The following answers could be given by the authors to the designers after the investigation carried out in laboratory and on site:
• the partial collapse of the Cathedral was not only caused by the damages due to the 1990 earthquake, but also due to the already unsafe condition of the central pillars;
• taking, in fact, into account the results of the laboratory and of the on site investigation, the poor technique of construction, the poor materials used, the lack of connection between the external and the internal leaves of the pillars, it is possible to confirm that the damage to these elements was already present in the fifties;
• the lateral walls, the arches and the remaining lateral domes which were built with a better technique can be repaired and preserved by grout injection and local reinforcements;
• the lower part of the left central pillars cannot be preserved or repaired due to the high state of damage, the poor technique of construction and the poor materials which cannot be strengthen in anyway. Therefore they should be demolished and rebuilt as the collapsed ones. In fact in the case that a decision would be taken to preserve them, the structure will be affected by a high lack of symmetry and this characteristic would be unsafe against the future earthquakes. The demolition and reconstruction of the pillars even if apparently non respectful of the conservation theories will lead to a better safe structure taking into account the seismicity of the place;
• the materials to be used for the reconstruction of the pillars must be more reliable than the original ones: hydraulic mortars, use of the calcarenite in

stra, anche se in apparenza meno rispettosa della conservazione, fornirà una soluzione di maggior sicurezza per la struttura tenendo conto anche dell'alta sismicità del luogo;
• i materiali da utilizzare nella ricostruzione dei pilastri devono essere più affidabili di quelli usati nei pilastri originari: malte idrauliche di buona resistenza, uso di sola calcarenite sia per i paramenti esterni sia per il riempimento, inserimento di diatoni in fase di costruzione [7].

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare L. Cattaneo, C. Colla, M.Garau, G. Paccapelo per la collaborazione in sito e M. Antico, M. Cucchi, M. Iscandri, P. Perolari per la loro collaborazione alle prove in sito e in laboratorio. Le indagini sono state finanziate dalla Prefettura di Siracusa.

the external leaf and in the core filling, transversal stones to connect the external and the internal parts [7].

Acknowledgements

The authors wish to thank L. Cattaneo, C. Colla, M.Garau, G. Paccapelo for the on site collaboration M. Antico, M. Cucchi, M. Iscandri, P. Perolari for their collaboration to the on site and laboratory tests. The investigation was supported by the Prefettura of Siracusa.

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

[1]
Tringali S., De Benedictis R., La Rosa R., Russo C., Bramante A., Gavarini C., Valente G., Ceradini V., Tocci C., Tobriner S., Maugeri M., Binda L., Baronio G., The Reconstruction of the Cathedral of Noto, Proc. Int. Symp. On Earthquake Resistant Engineering Structures (ERES II), Eds. G. Oliveto and C.A. Brebbia, Catania, pp. 499-510, 1999; pubblicata anche su Construction and Building Materials, 17, pp. 573-578, 2003

[2]
L. Binda, Baronio G., Cattedrale di Noto - Indagini preliminari al progetto di ricostruzione: indagini e prove strutturali sugli elementi murari, Relazione Finale, Contratto Prefettura di Siracusa, 1998

[3]
L. Binda, Baronio G., Contratto di Consulenza: Studio sullo stato di conservazione dei materiali e delle strutture e sulla possibilità di un loro recupero in base ai risultati delle prove e dei rilievi di laboratorio e in situ, Relazione Finale, Contratto Prefettura di Siracusa, 1998

[4]
Binda L., Tiraboschi C., Baronio G., On Site Investigation on the Remainings of the Cathedral of Noto, Seminario Int.: Ricostruendo la Cattedrale di Noto e la Frauenkirche di Dresda: due casi di studio di ricostruzione in muratura, Noto 10-12/02/2001, pp. 71-89, 2002. Special Issue, Construction Building Materials, 17, pp. 543-555, 2003

[5]
Baronio G., Binda L., Tedeschi C., Tiraboschi C., Characterization of the Materials Used in the Construction of the Noto Cathedral, Seminario Int.: Ricostruendo la Cattedrale di Noto e la Frauenkirche di Dresda: due casi di studio di ricostruzione in muratura, Noto 10-12/02/2001, pp. 107-120, 2002, pubblicato anche su Special Issue, Construction Building Materials, 17, pp. 557-571, 2003

[6]
L. Binda, A. Saisi, C Tiraboschi, S. Valle, C. Colla, M. Forde Application of sonic and radar tests on the piers and walls of the Cathedral of Noto, Construction and Building Materials 17 (2003) 613-627

[7]
Binda L., Baronio G., Tiraboschi C., Tedeschi C., Experimental Research for the Choice of Adequate Materials for the Reconstruction of the Cathedral of Noto, Special Issue, Construction Building Materials, 17, pp.629-639, 2003

Maurizio Boriani
Francesco Augelli

Le ispezioni e le indagini per il recupero dei solai lignei dell'ex monastero di S. Michele a Lonate Pozzolo (Va)

Inspection and analysis for the restoration of the timber soffit at the former monastery dedicated to St. Michael at Lonate Pozzolo (Va)

La convinzione che il legno possa essere compreso analizzando porzioni ridotte di materiale da cui desumere il comportamento di interi elementi o addirittura di intere strutture, ha portato, in passato, ad errori di valutazione ed interpretazione delle osservazioni svolte.
Queste errate considerazioni hanno avuto, frequentemente, riflessi negativi per quanto riguarda la comprensione e la valutazione dell'affidabilità sul materiale indagato che, di conseguenza, è stato ritenuto inaffidabile.
Il riconoscimento generalizzato che il legno sia un materiale inidealizzabile e che le osservazioni devono essere contestualizzate e svolte su ogni singolo elemento, e non a campione, è conquista relativamente recente.
Alla luce di questa *rivoluzione* assume una rilevanza fondamentale, non solo per accertare l'affidabilità di tali elementi in opera, ma anche per limitare i costi degli interventi di riparazione o sostituzione e per evitare inutili sacrifici in epoca di emergenza ambientale, una migliore conoscenza delle caratteristiche del legno.
La validità metodologica e scientifica dell'indagine a vista (ispezioni) è ampiamente legittimata e normata da numerosi documenti UNI, UNI ISO e UNI EN oltre che dalle *Reccommendations* e dalle *Guide lines* elaborate da numerosi enti stranieri.

The analysis of wood through the use of sampling of small portions from the artefact or element being examined and the deduction that the results apply for the whole structure, has led to various misinterpretations of the observations made in the past.
These misinterpretations have had a negative impact on the reliability of the observations made on the whole artefact being examined, which consequently resulted in erroneous judgements.
It has only been recently acknowledged that tests on wood must be carried out for each single element, as opposed to the sampling method.
Apart from ensuing in an improved knowledge of the characteristics of wood, this *revolution* has a relevant application on various counts, amongst which, to ascertain the consistency of such elements, to limit the costs related to the various interventions carried out, including repairs and substitutions, and also to avoid unnecessary replacements in this day and age, whereby there is a strong, conscious environmental awareness.
The validity of the methodical and scientific visual inspection is broadly regulated through the various publications: UNI, UNI ISO and UNI EN, and also through the Guidelines issued by various foreign bodies. The heritage group UNI will soon be publishing NorMaL. GL20 *Legno*, consisting of guidelines which establish the operational and terminological protocol for the preliminary inspection phase on timber structures.
Apart from establishing the type of wood in use, the visual inspection also aims to verify the presence of defects, structural faults and pathologies, and the causes and risks of decay of the elements present. Unfortunately and in many cases, various difficulties are encountered during the inspections due to: access problems (eg. presence of other false ceilings, or the excessive height between the floor and the soffit etc.), particular features in the same structure (eg. joints and non-visible connections at the corners), poor illumination conditions, deposits at the surface and other treatments which may cover the materials' characteristics.
Even in cases where the above difficulties may be sorted out, the visual inspection will nonetheless only ascertain the decay at the surface of the wood and not its presence or distribution throughout the section of the element.
The collection of quantitative data (measured by adequate equipment), together with the qualitative

1.
Esempio di scheda anagrafica di cantiere (parte prima) compilata per ogni solaio diagnosticato e contenente la descrizione sintetica delle specie legnose, dei difetti, delle patologie, dissesti e dei punti di prova e dell'esito della diagnosi

Example of form compiled during site work (first part) for each soffit being inspected, including the details regarding the type of wood used, the defects present, pathologies, structural faults, test areas and diagnostic results

Ispezioni e indagini dei solai al piano terreno dell'ex Monastero di S. Michele a Lonate Pozzolo (Va)

Scheda **N.6**	Piano Primo	Locale **7pt**

Tipologia Costruttiva: Orizzontamento composto da una trave rompitratta con mensole sagomate in corrispondenza degli appoggi. Alla trave sono sovrammessi, a distanze regolari, i travicelli, i regoli coprigiunto e l'assito. La trave ha sezione quadrangolare e misura all'appoggio nord (b x h) 23 x 31 cm mentre la mensola ha le seguenti dimensioni (b x h x p. max) 20 x 27 x 45. L'appoggio sud non è al momento rilevabile ed ispezionabile a causa di ingombri non rimossi dal locale. I travetti hanno sezione quadrangolare regolare e misurano mediamente (b x h) 7 x 14 cm con interasse medio di 51 cm. Tutto il solaio presenta tracce di spessa tinteggiatura a calce.
Anamnesi: Trave 4. *In legno di quercia caducifoglia. Sita nel locale 7pt, l'esame di primo livello fa ritenere superflua l'analisi resistografica, in quanto il legno sia delle testate che delle mensole sottostanti appare in buone condizioni.* (del Senno, I.T.L. 1999)
Specie legnose: Il solaio è tutto in legno di conifera.
Lavorazione/Difettosità: La trave è asciata con smussi mentre i travicelli sono piallati a facce parallele e spigoli vivi.
Classe di rischio biologico: 3. L'intero solaio è sottoposto ad umidificazione frequente. Localmente (tutte le zone di legname ammorsate alla muratura e in corrispondenza degli appoggi legno - legno) la classe di rischio è da considerarsi 4.
Zone critiche: Nessuna di particolare evidenza.
Patologie: Si rileva una porzione di solaio, a sud - ovest tra la trave e il tramezzo in muratura, con ampie tracce di infiltrazioni e probabili infezioni (coerenti con l'analoga situazione osservabile sull'altro lato del tramezzo del locale 8pt).
Valori di umidità: L'umidità del legno è stata rilevata esclusivamente all'appoggio nord con valore pari al 17,3 %. Il valore, nonostante il periodo, è prossimo a quello necessario per il progredire delle infezioni.
Prove di resistenza alla penetrazione: La presenza di una scaffalatura di cantiere non ha permesso di eseguire l'ispezione e le prove all'appoggio sud. La prova (p7) eseguita sulla trave all'appoggio nord ha fornito esito discreto per la specie legnosa (conifera), stessa cosa dicasi per la prova (p8') eseguita sulla corrispondente mensola.
Commento: Dall'anamnesi si evince che non esistono elementi di diagnosi strumentale pregressi di riscontro. All'esame macroscopico non c'è coincidenza neppure con l'ordine di appartenenza individuato dall'ITL (latifoglia - quercia) e dallo studio Materia (conifera). Pertanto sarebbe necessario provvedere ad opportuni esami microscopici per l'identificazione della specie essendo questa di fondamentale importanza per la valutazione degli esiti delle prove e delle resistenze meccaniche.
Grado di affidabilità: Per il solo appoggio testato (trave e mensola) si ritiene che esso possa essere conservato in opera provvedendo esclusivamente con interventi di irrigidimento del solaio. Il solaio risulta essere matericamente recuperabile per circa $^{3}/_{4}$.
Percentuale stimata di recupero dell'orditura primaria: 100%.
Percentuale stimata di recupero dell'orditura secondaria: 70%.

2.
Esempio di scheda fotografica (parte seconda) realizzata per ogni solaio diagnosticato
Example of photographic record (second part) for each soffit inspected

EX CONVENTO DI S. MICHELE A LONATE POZZOLO				ANALISI E INDAGINI DIAGNOSTICHE SUGLI ELEMENTI STRUTTURALI DELL'ORDITURA PRINCIPALE -RILIEVO FOTOGRAFICO-
Data di rilevamento 31-07-01	Piano terra	Stanza 7PT	Unità costruttiva 1	

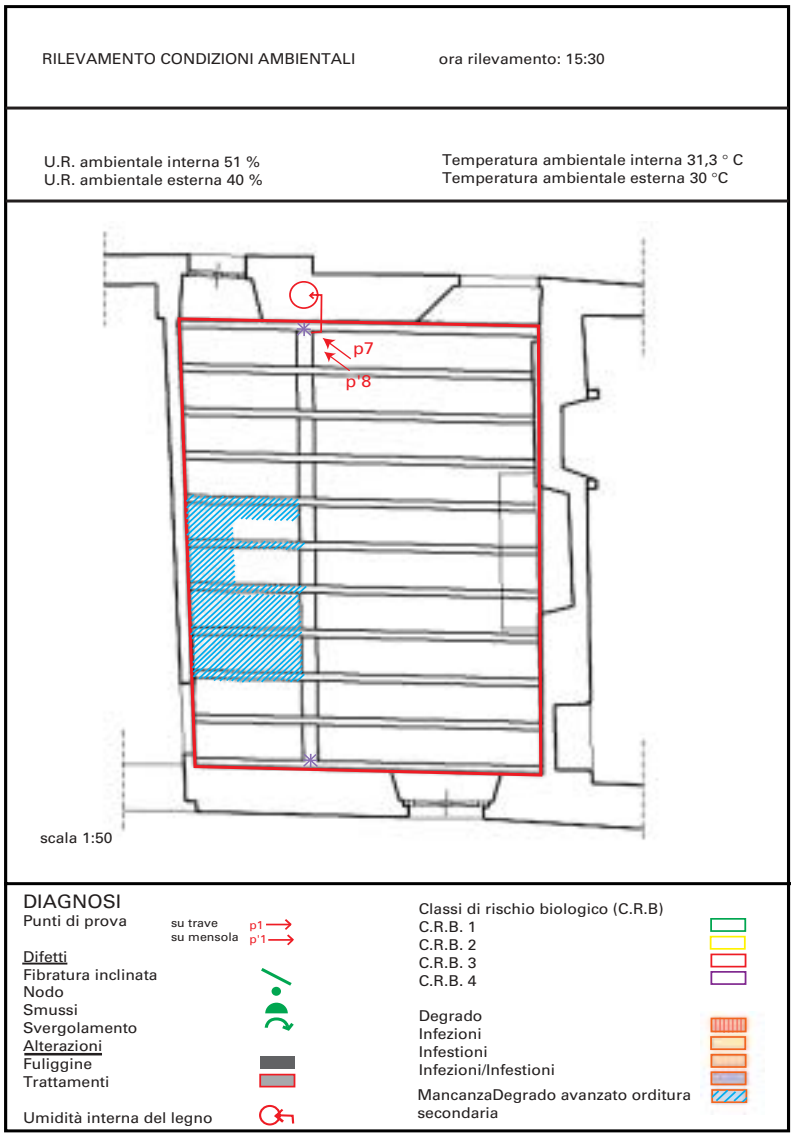
18. Vista porzione Nord del solaio

19. Vista porzione Sud del solaio

20. Particolare appoggio Nord

A breve verranno pubblicate, a cura del gruppo di lavoro Beni Culturali UNI Nor.Ma.L. GL20 *Legno*, costituitosi in seno all'UNI, una serie di norme che stabiliranno i *protocolli* operativi e terminologici anche per le fasi di valutazione preliminare delle strutture lignee in opera.
Scopo delle ispezioni però è anche quello di stabilire oltre alla specie, presenza di difetti, dissesti e patologie, quali siano le cause e il rischio pregresso o futuro di degrado degli elementi in esercizio.
Purtroppo le ispezioni sono normalmente rese ancora più complicate dalla difficoltà di accedere

records (primarily obtained through the direct visual inspection) are imperative for adequate conservation interventions and consolidation.
The 14th Century ex-Monastery dedicated to St. Michael at Lonate Pozzolo (VA) has been subject to this *new* methodology for visual inspections and diagnosis for timber structures.
The inspections were carried out on the timber elements present at ground floor at the North Wing of the building. The segment subject to inspection is currently in disuse and interventions related to the restoration, consolidation and functional

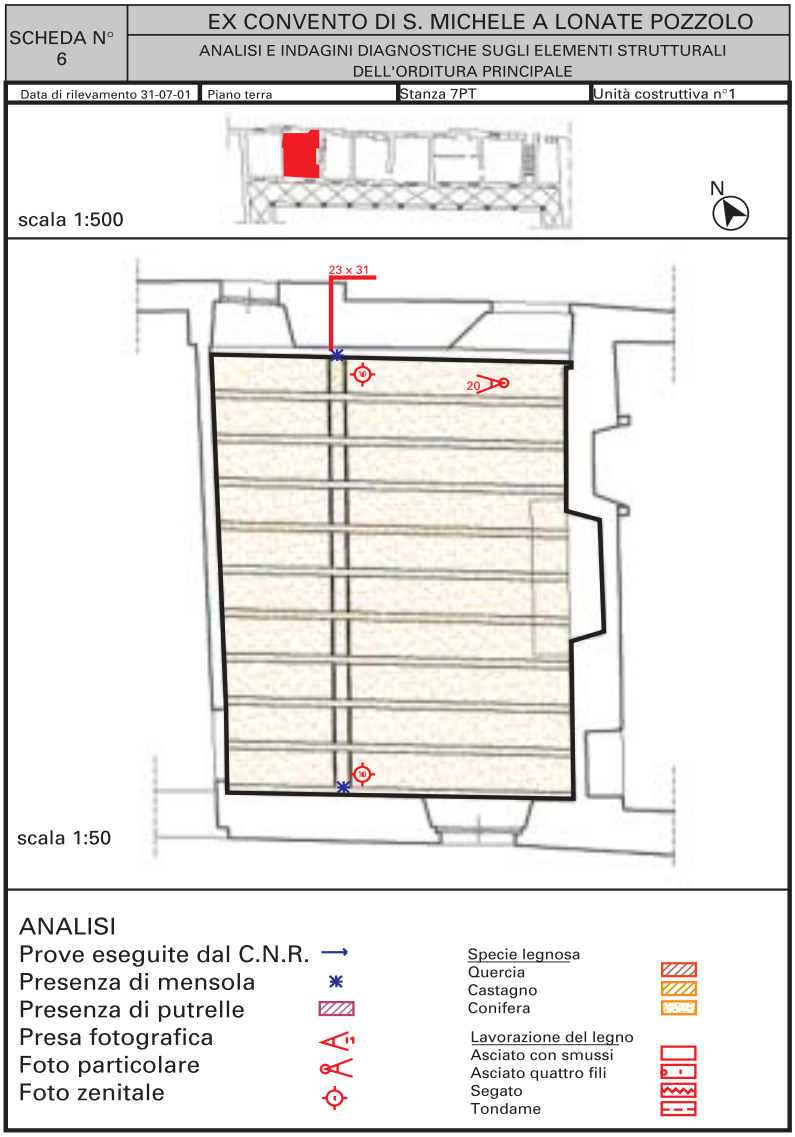


3a e b.
Esempio di scheda anagrafica (parte terza) di cantiere compilata per ogni solaio diagnosticato e contenente la localizzazione delle specie legnose, dei difetti, delle patologie, dissesti e dei punti di prova
Example of form compiled during site work (third part) for each soffit inspected and consisting of the localization of types of wood used, the defects, pathologies, structural faults and test areas

alle strutture stesse (presenza di controsoffittature, distanza dal piano di calpestio, ecc.), o a parti di esse (incastri, ammorsature non visibili, ecc.), dall'assenza di adeguata illuminazione, dalla presenza di depositi superficiali e talvolta da trattamenti che celano le caratteristiche del materiale.
Anche se si riescono a superare i problemi di cui sopra, tuttavia la esclusiva ispezione a vista può, generalmente, accertare lo stato di degrado superficiale del legno ma non la sua penetrazione ed estensione all'interno.

adjustments are underway. The primary composition of the timber structures at ground and first floor level had already been carried out, commissioned by the commune's administration - the CNR–I.T.L. of St. Michael Adige (TN) in 1999, whilst during the month of February 2000, the inspection and diagnosis, together with the methodology as explained and summarised in this document, had also been commissioned. The integrations and updates related to the soffit inspections had been carried out at the end of July 2001, thanks to the collaboration of Architect Roberta

3b.



Dati quantitativi ottenibili con idonea strumentazione unitamente a quelli qualitativi ottenibili principalmente mediante l'osservazione diretta sono elementi irrinunciabili per un idoneo intervento di conservazione e consolidamento. Terreno di sperimentazione della *nuova* metodologia ispettiva e diagnostica delle strutture lignee sono stati i solai dell'ex Monastero di S. Michele a Lonate Pozzolo (VA) edificio risalente al XIV secolo.
Le ispezioni hanno interessato gli elementi lignei al piano terreno di otto ambienti presenti nella manica nord.

Mastropirro.
The aims, scheme of works, summarised, descriptive and graphic data, are as follows:
Phase 1 – Past History and Observations: Typology; Macroscopic analysis of timber; Quality and workmanship of the timber element; Durability; Biological decays; Pathologies.
Phase 2 – Diagnosis: Temperature and ambient humidity levels; Humidity levels of timber; Interpretation of thermal-geometric values; Tests related to the material's strength.
Phase 3 – Data Representation: Report; Tables;

La porzione oggetto di indagini è in disuso e sono attualmente in corso gli interventi di restauro, consolidamento e adeguamento funzionale. Le strutture lignee dell'orditura primaria del piano terreno e del piano primo erano già state sottoposte, su incarico dell'amministrazione comunale, a valutazioni tecnologiche e prove strumentali da parte del CNR–I.T.L. di S. Michele Adige (TN) nel 1999, mentre nel mese di febbraio 2000 era già stato affidato l'incarico di ispezionare e diagnosticare, con analoga metodologia che in questa sede sommariamente si descrive, la copertura. Le integrazioni e gli aggiornamenti alle ispezioni ed indagini dei solai sono state condotte alla fine del mese di luglio 2001 con la collaborazione dell'Architetto Roberta Mastropirro.
Scopi, iter, dati acquisiti e restituiti in forma sintetica, descrittiva e grafica sono stati:
Fase 1 – Anamnesi ed Esame Obiettivo: Tipologia costruttiva; Individuazione macroscopica del legname; Qualità del legname e della lavorazione; Durabilità; Classi di rischio biologico; Patologie.
Fase 2 - Indagini Strumentali: Temperatura e umidità ambientale; Umidità del legno; Interpretazione dei valori termoigrometrici; Prove di resistenza alla penetrazione.
Fase 3 - Restituzione dei dati acquisiti: Relazione; Schede; Allegati grafici e fotografici.

Le indagini strumentali hanno voluto verificare ed aggiornare, rispetto alle indagini condotte dal CNR, il livello delle aggressioni e di conseguenza ipotizzare e quantificare l'eventuale recupero o sostituzione di parti delle strutture lignee (orditura primaria) soprattutto nelle parti non ispezionabili (appoggi alle murature). Sono stati effettuati rilevamenti dell'umidità e temperatura ambientale e dell'umidità del legno in profondità.
Localmente, e nelle stesse zone di rilevamento dell'umidità del legno, sono state eseguite prove di resistenza alla penetrazione (prove resistografiche) mediante strumentazione dell'Osservatorio per la conservazione delle opere lignee [1].
Le ispezioni e le indagini all'ex Monastero hanno evidenziato l'avanzato stato di degrado generalizzato degli orizzontamenti del piano terreno, costituiti prevalentemente da legno di castagno e di quercia. Tale situazione è da imputare all'assenza di un'adeguata copertura, situazione che ha costretto le strutture lignee ad essere sottoposte ad umidificazione frequente e generalizzata e a fenomeni di

4.
Le attrezzature e gli strumenti impiegati per la diagnosi delle strutture lignee. In alto, a sinistra, i principali attrezzi impiegati per l'esame obiettivo o di primo livello: mazzuolo, scalpello e succhiello. A destra il termoigrometro elettronico con porta elettrodi ad infissione e la sonda ambientale. In basso il penetrometro per legno (resistografo)

The apparatus and equipment used for the diagnosis of the timber structures. Above, left, the main tools used for the direct analysis at first level. Right, the electric equipment, electrodes and soundings apparatus. Below, the resistograph

Graphic and photographic attachments.
The diagnosis was carried out in order to verify and update the level of decay and also to put forward assumptions and to establish the eventual recovery or substitution of the parts in timber, especially in places where the visual inspection could not be carried out (non-visible connections at the corners) and also with respect to the analysis carried out by the CNR.
The ambient temperature and humidity levels, and the humidity level across the timber section have been noted. Strength tests have also been carried out by using the apparatus found at the Observatory for the Conservation of Wood and were taken at the same point where the timber's humidity level had been read.
The inspections and research carried out at the ex-Monastery highlighted the general advanced state of decay of the chestnut and oak elements at ground floor level. This state of affairs may be attributed to the absence of an adequate cover, which has led to the wooden structures being exposed to broad and regular humidity and also to permanent humidity due to water retention at the extremities of these structural elements.

umidità permanente per ristagno d'acqua alle estremità degli elementi dell'orditura primaria e secondaria.
Generalmente gli elementi dell'orditura primaria presentano aggressioni pregresse da insetti (sia cerambicidi che anobidi) nelle porzioni di alburno non asportate nella fase di squadratura del legname. Tale porzione di legno degradato è quantificabile mediamente in circa 1 cm su tutto il perimetro; di conseguenza il calcolo delle strutture dell'orditura primaria ha previsto una riduzione delle resistenze meccaniche, per ogni singolo elemento indagato, determinate sia dalla difettosità che dalle aggressioni entomatiche.
Più preoccupante la situazione relativamente alle infezioni fungine che, ancor più delle aggressioni da insetti, hanno goduto delle sfavorevoli condizioni ambientali per la loro diffusione, parzialmente rallentata dal buon livello di durabilità del legname in opera. Nelle zone di più profondo ammaloramento (appoggi), al fine di scongiurare massicci interventi sostituitivi, si sono puntualmente indicati gli elementi che necessitano inevitabilmente di provvedimento protesico in legno lamellare reso collaborante mediante connessioni metalliche *a secco*.
Grazie alle indagini svolte si è quantificato che circa l'80% della struttura portante originaria possa essere conservata e ciò comporterà un notevole risparmio economico rispetto ai costi che deriverebbero da una eventuale rimozione generalizzata del materiale in opera e dalla sostituzione con materiale della stessa specie legnosa.

In general, the timber elements revealed an advanced state of decay caused by insects (beetles), in the external part of the wooden trunk which has been retained in the processing of the wooden beam at production stage. This layer of degrade is quantified as being approximately 1cm along all the perimeter, and consequently the mechanical strength pertaining to the timber element is reduced, for each investigated element, determined by both the defects present and the entomological assault. A more serious concern, worse than that posed by insect attacks, is that related to fungal infections, which have thrived on the unfavourable environmental conditions in order to propagate, to some extent at a slower pace in view of the relative superior durability of the wood in use. In parts of the structure where this is predominant (support structures), its consolidation through metal strips attached to the wood has been indicated, in order to avert substantial replacement of these elements. Thanks to above analysis, it has been concluded that approximately 80% of the support structure may be conserved and hence this implies a reduced cost ensuing from the eventual removal of the material in use and the substitution of the elements with the same type of wood.

NOTE

[1]
L'Osservatorio si costituisce formalmente nel 2000, in seno al Laboratorio di diagnostica per la conservazione e il riuso del costruito-Dipartimento di Progettazione, al fine di poter realizzare gli obiettivi previsti da attività di ricerca Post Dottorato ed ha continuato ad operare e ad accrescersi, in questi ultimi anni e con mezzi propri, sviluppando i seguenti settori e attività: Archivio bibilografico; Archivio materiale (legni e aggressori biotici); Didattica (post diploma, post laurea, specializzazione); Sperimentale nel settore della diagnostica (acquisizione ed impiego strumenti); Pubblicazioni; Incarichi conto terzi per prove strumentali (sei cantieri più altri due attualmente in corso di esecuzione e di definizione)

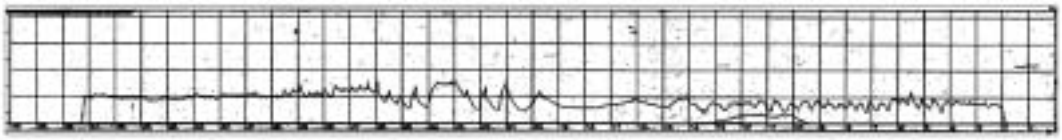
NOTES

[1]
The Observatory was founded in the year 2000, as part of the Laboratorio di Diagnostica per la Conservazione and the Dipartimento di Progettazione, in order to establish research programmes at Post-Doctorate level. The Observatory continued to expand, with its own resources in the past years, and developed the following sectors and activities: Bibliographical archive; Materials archive (timber and biological problems); Didactics (post diploma, post degree, specialization); Experimental diagnosis (acquisition and use of apparatus); Publications; Commissioned projects (six site works and another two, currently at hand)

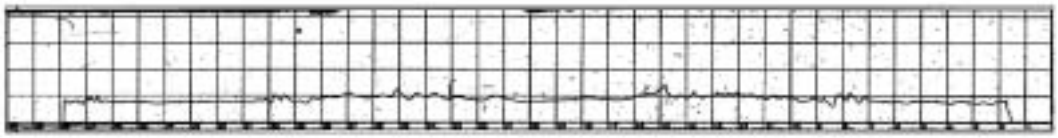
5.
Esempi di profili resistografici. Il profilo rappresenta in ordinata l'attrito dalla sonda, che ha diametro in testa di 3 mm ed estensione massima di 38 cm, durante l'attraversamento della sezione lignea. L'ascisse rappresenta, in cm la porzione di legno attraversata. La prova p7, eseguita ortogonalmente e in direzione radiale su una trave rompi tratta all'appoggio nord, ha fornito esito discreto per la specie legnosa (conifera), stessa cosa dicasi per la prova p8' eseguita sulla corrispondente mensola. In entrambe le prove non si osservano di conseguenza riduzioni di attrito della punta che avrebbero potuto rivelare la presenza di cavità da infezioni. I picchi rappresentano le variazioni di resistenza del legno nel passaggio tra l'anello tardivo e l'anello primaticcio. Il relativo calo di resistenza nella parte centrale dei profili appartiene alla zona prossima al midollo. Si osservi la perfetta specularità delle due porzioni del profilo nella prova p8'

Examples of profiles resulting from the resistografo. The profile being inserted trough the section of the wood has a diameter of 3mm, which extends up to 38cm. The axis represents, in cm, the portion of wood traversed. The p7 test, carried out orthogonally in a circular motion on a beam leaning to the north side, provided a fairly good outcome for the selected species (conifer). The same thing can be said for the p8' test, carried out on the same supporting structure. In both cases, no reduction in friction, which could have been an indication of cavities present due to infections, was noted. The peaks represent the variations in strength in the central part of the timber section. The relative decrease in resistance in the central part of the profile approximately coincides with the core of the tree. The perfect likeliness of the two profiles on the p8' test has been observed

EX CONVENTO DI S. MICHELE A LONATE POZZOLO				ANALISI E INDAGINI DIAGNOSTICHE SUGLI ELEMENTI STRUTTURALI DELL'ORDITURA PRINCIPALE
Data di rilevamento 31-07-01	Piano terra	Stanza 7PT	Unità construttiva 1	



p7 - prova eseguita sulla trave all'appoggio Nord



p'8 - prova eseguita sulla mensola all'appoggio Nord

Chiara Colombo
Lucia Toniolo
Valerio Di Battista
Paolo Gasparoli

Valutazione sperimentale dell'efficacia di metodi di pulitura su materiali lapidei

Experimental evaluation of the efficacy of cleaning methods for stone materials

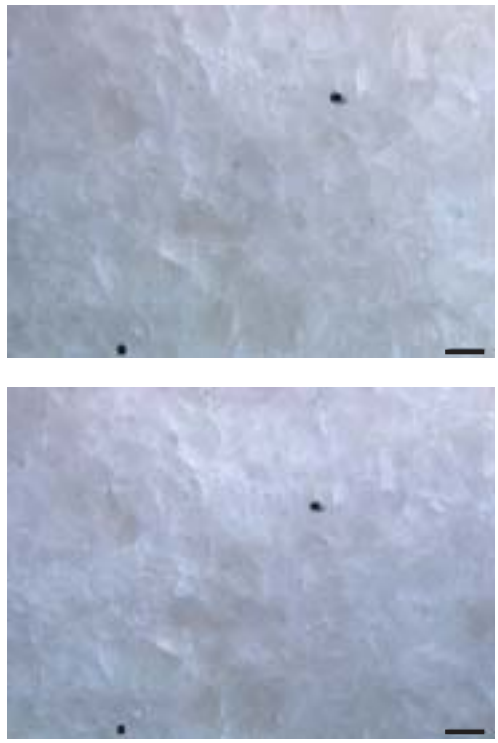
La pulitura dei materiali lapidei, come fase essenziale degli interventi di conservazione mirati a ridurre la cinetica dei fenomeni di degrado, è una fase critica sia dal punto di vista tecnico che estetico, considerando la valenza storico-artistica delle superfici su cui si opera.
Lo scopo della pulitura è quello di rimuovere i composti e i materiali che possono essere dannosi per il supporto lapideo e la sua conservazione, cioè i prodotti di neoformazione: depositi superficiali, croste e incrostazioni, patine biologiche, sali e prodotti contaminanti.
Il processo di pulitura deve rispettare la natura chimico-fisica dei materiali e salvaguardare il valore documentale delle superfici, specialmente per quanto riguarda le policromie, le patine e le *protezioni* intenzionali.
I principali requisiti di un corretto metodo di pulitura sono indicati nelle linee guida riportate nella Raccomandazione UNI NorMaL [1] che sono di seguito riassunte:
• efficacia nella rimozione dei prodotti del degrado, particellato atmosferico, deiezioni animali, sali solubili, ecc.;
• sicurezza per l'operatore e per l'ambiente, in accordo con le normative europee;
• assenza di prodotti secondari dannosi (composti corrosivi o nocivi) o ulteriori fenomeni di degrado (nuova formazione di microfratture, abrasioni, discontinuità, ecc.);

The cleaning of stone materials, as part of a conservation work aimed at decreasing the decay process speed, is a critical phase both from the technical and formal point of view, particularly for historical buildings. The aim of cleaning is to remove all the compounds and materials that could be dangerous for the substrate and its future conservation, that is all kinds of new formation products: surface deposits, crusts and incrustations, biological patinas, salts and contaminants. The cleaning process should be respectful of the chemical-physical nature of the materials and of the historical value of the surface, especially for what concerns polychromies, natural and intentional patinas and films.
The main requirements of a correct cleaning methodology are described in the guidelines reported in the UNI Normal Italian Protocol [1] and they can be summarized as follows:
• efficacy in removing particulate matter, animal dejection, soluble salts etc. ;
• safety for the operator and the environment according to the EC laws;
• no release of dangerous secondary products (corrosive or harmfulness compounds) or cause further damages (new formation of micro-fractures, abrasion etc.);
• the method should be tunable according to the state of conservation of the surface and respectful of polychromies, films and patinas.
The output of the cleaning operation involves other important aspects related to the restoration theory and to the meaning of the conservation work. Besides the total respect of the material itself, the values and signs of passing of time should be preserved as they assume in the urban landscape an essential role of the collective memory. In the last decade, owing to very lively polemics born about some cleaning works judged extreme by many critics [2-6], the tendency is toward very careful intervention that allows to preserve the *history* of the surface. In any case, it's worth noting that in the practical operation there are conservers who undertake uncareful cleaning works to reduce time and costs and who, at the end, are forced to mask the surface aspect with unsuitable artificial treatments. At the same time, the attitude of being too careful can lead to apply a cleaning procedure that leaves some dangerous new formation compounds on the surfaces. Actually, if an extreme cleaning operation produces some not reversible damages, the incomplete removing of the decay products, in combina-

• controllabilità e modulabilità del metodo in funzione dello stato di conservazione della superficie, dell'estensione dei fenomeni e della presenza di strati di finitura, quali policromie e patine naturali e intenzionali.
Il risultato delle operazioni di pulitura coinvolge altri importanti aspetti inerenti la teoria del restauro ed i significati simbolici delle opere restaurate. Oltre al completo rispetto del materiale, devono essere conservati i segni del passaggio del tempo in quanto essi assumono nell'ambiente urbano un ruolo essenziale di mantenimento della memoria collettiva.
Nell'ultimo decennio, in relazione alle vivaci polemiche suscitate a seguito di alcuni lavori di pulitura giudicati *invasivi* da molti critici [2-6], si è affermata la tendenza a condurre interventi più prudenti che permettano di conservare e rispettare la *storicità* della superficie.
Tuttavia non si può ignorare che nella pratica di cantiere, vi siano operatori che intraprendono spericolate operazioni di pulitura per ridurre tempi e costi, i quali alla fine sono costretti a mascherare l'aspetto della superficie con patinature e trattamenti artificiali spesso inaccettabili o dannosi.
Allo stesso tempo, però, l'eccessiva prudenza può portare all'applicazione di procedure di pulitura inadeguate che rischiano di lasciare sulla superficie composti di neoformazione derivanti da processi degradativi ancora in atto. Ovviamente, se una operazione di eccessiva pulitura produce danni irreversibili, la rimozione incompleta dei prodotti di degrado, in combinazione con inquinanti atmosferici ed umidità, può stimolare la prosecuzione dei processi di degrado.
La corretta esecuzione dell'intervento conservativo implica un'approfondita indagine diagnostica preliminare ed una fase analitica con approccio sperimentale in situ. La validità dell'intervento di pulitura può essere verificata attraverso una serie di prove di laboratorio ed in situ che permettano di valutare i differenti parametri che regolano l'efficacia del metodo.
Tuttavia è fondamentale riconoscere l'importanza di un'attenta rimozione dei prodotti di degrado, che spesso risultano strettamente legati al supporto lapideo; i composti inquinanti e corrosivi, infatti, possono penetrare in profondità nella struttura cristallina del materiale, così che è sempre necessario un atteggiamento molto attento e scrupoloso.

tion with atmospheric pollutants and humidity, can stimulate the prosecution of the decay process.
The correct development of a conservation work involves a suitable diagnostic and analytical phase with an experimental approach. The cleaning procedure should be verified through a series of tests, tuning the different parameters that can affect the method efficacy.
Nevertheless, it's basic to understand the importance of a careful removing of the decay products so deeply linked to the stone materials; the pollutants and corrosive compounds can penetrate in the crystalline structure of the material so that a very scrupulous attitude is always mandatory.
In this paper a complete experimental evaluation of the effectiveness and harmfulness of different cleaning procedures [7-13] is presented in order to identify the critical parameters for each method and their *damage threshold*.
Therefore, several well established cleaning methods have been selected and tested, in laboratory and in situ:
• chemical methods, nebulized water and chemical poultices with different chemical agents (AB57 mixture and ammonium carbonate solutions);
• physical methods, Nd-YAG Laser induced ablation
• mechanical methods, traditional micro-sandblasting (using calcium carbonate or corundum as blasting material) and vortex micro-sandblasting (Rotec® patented method using calcium carbonate as blasting material).
Candoglia marble, the stone material of the Cathedral of Milan, has been chosen as stone substrate; some small decayed pillars, dismissed from a lateral window of the Cathedral, have been used for the experimental set-up.
The evaluation of the cleaning efficacy is carried out by visual observations (comparison of digital images) and colorimetric measurements (CIELab system) on site; optical and electron microscopy (SEM/EDS), infrared micro-spectroscopy (micro-FTIR), and ion-chromatography (IC) on collected samples (Table 1). The harmfulness evaluation was carried out on new polished marble specimens, carved from Candoglia quarry, by optical microscopy before and after cleaning .

The results of the analytical investigations are summarized in Table 1. As far as the chemical methodologies are concerned, the use of nebulized water is by far the most recommendable to remove the



1. / 2.
Immagini allo stereomicroscopio di provini in marmo di Candoglia da cava: sopra prima della pulitura, sotto dopo la pulitura con acqua nebulizzata per 90 minuti (barra = 500μm)
Candoglia marble samples from quarry. Up: before cleaning, down after cleaning by nebulized water for 90 minutes. (Stereomicroscopy, bar = 500μm)

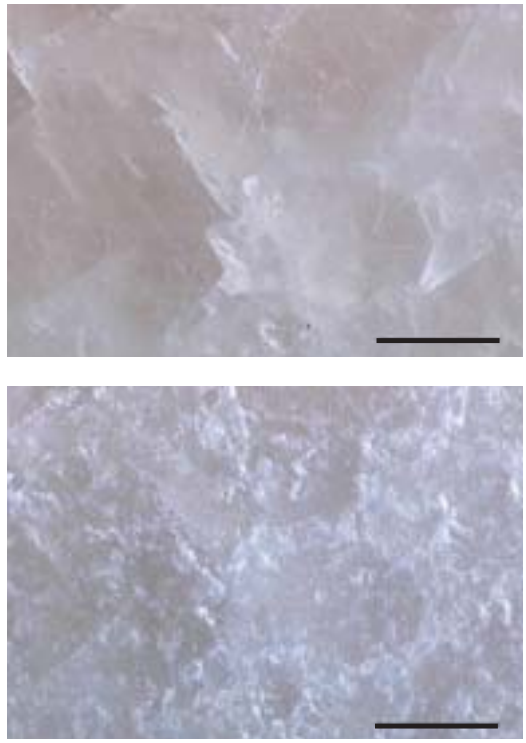
In questo lavoro viene presentata una completa valutazione sperimentale dell'efficacia e della nocività di alcune tra le metodologie di pulitura comunemente impiegate [7-13], al fine di identificare i parametri critici per ogni metodo e la loro soglia di danno. I metodi selezionati e testati in laboratorio e in situ, sono:
- metodi chimici, acqua nebulizzata e impacchi chimici con differenti agenti pulitori (AB 57 e soluzioni di carbonato d'ammonio);
- metodi fisici, pulitura laser Nd-Yag;
- metodi meccanici, microaerabrasivatura tradizionale (utilizzando carbonato di calcio o corindone come abrasivo) e microaerabrasivatura ad umido a vortice (metodo brevettato Rotec© utilizzando carbonato di calcio come abrasivo e acqua deionizzata).

La sperimentazione è stata condotta su pilastrini in marmo di Candoglia, dismessi intorno al 1880 da un finestrone laterale del Duomo di Milano.
La valutazione dell'efficacia della pulitura è stata effettuata in situ con osservazioni visive (confronto di immagini digitali) e misurazioni colorimetriche (sistema CIELab); in laboratorio mediante microscopia ottica ed elettronica (SEM-EDS), microspettroscopia (micro-FTIR), e cromatografia ionica (IC) su micro-campioni. La valutazione della nocività dei metodi di pulitura, è stata eseguita su campioni da cava di marmo lucidato mediante microscopia ottica, prima e dopo il trattamento.
La sintesi dei risultati analitici ottenuti è riportata in Tabella 1.
Per quanto concerne le metodologie chimiche, l'uso dell'acqua nebulizzata è di gran lunga il più consigliabile per rimuovere le croste nere senza creare danni alla struttura cristallina della superficie.
Gli impacchi chimici, sia utilizzando carbonato d'ammonio ed EDTA, che con solo carbonato d'ammonio in soluzione, non sono abbastanza

black crusts without any serious damage to the marble surface. The chemical poultices, both with the mixture of ammonium carbonate and EDTA or ammonium carbonate solution, are not enough efficient to remove the very adherent crusts here considered. In fact, these methodologies should be applied in combination with others, to reduce time and reach better and more respectful results.
They generally are useful to clean ornamental or sculptured surfaces, where a great care of the decayed areas is necessary [10-11].
The Laser cleaning is a very powerful method, respectful of the surfaces and easy to control.
The problem of interaction with the substrate is well documented in literature [12-14] and the choice of the right working parameters should be carefully selected case by case. On the considered marble surface the damage threshold is assessed at about 0.5 J/cm^2 for both used wavelength (1064 and 532 nm), while to obtain a fairly good efficacy it is necessary to increase the fluency.
Concerning the mechanical methodologies, the study pointed out that the traditional micro-blasting is not enough safe for historical surfaces and doesn't guarantee a durability of the cleaning inter-

3.
Immagini allo stereomicroscopio di provini in marmo di Candoglia da cava: sopra prima della pulitura, sotto dopo la pulitura con microaerabrasivatura a umido, sistema a vortice e carbonato di calcio naturale come abrasivo (condizioni di esercizio P=2 bar e Dimensione media dell'abrasivo 100μm)
[barra = 500 μm]

Candoglia marble samples from quarry. Up: before cleaning. Down: after water vortex micro-sandblasting using calcium carbonate as blasting material. Exercise parameters: Pressure = 2 bar, abrasive size = 100μm.
[Stereomicroscopy, bar = 500μm]



efficaci per la rimozione delle croste nere particolarmente compatte ed aderenti al substrato, come quelle qui considerate. L'impiego di impacchi chimici, infatti, deve essere combinato con altre metodologie, al fine di ridurre i tempi di contatto con le superfici ed ottenere risultati migliori e meno dannosi. Essi generalmente sono utili per pulire superfici scolpite o decorate dove è necessaria una grande attenzione, in particolare sulle aree più degradate [10-11].
La pulitura Laser è un metodo molto efficace, rispettoso delle superfici e facilmente controllabile. Il problema dell'interazione con il supporto è ben documentato in letteratura [12-14] e la scelta dei parametri esecutivi più corretti deve essere attentamente condotta caso per caso. Sulla superficie in esame, la soglia di danno è stata definita a circa 0,5 J/cm^2 per entrambe le lunghezze d'onda utilizzate (1.064 e 532 nm), mentre per ottenere una migliore efficacia è necessario aumentare la fluenza.
Per quanto riguarda le metodologie meccaniche lo studio dimostra che la microaerabrasivatura tradizionale non è abbastanza sicura per superfici storiche e non garantisce l'efficacia e la durabilità dell'intervento. L'impatto dell'abrasivo sulla superficie marmorea è inefficace e causa un serio danno ai cristalli di calcite; infine la microaerarabrasivatura a umido a vortice, con l'utilizzo di carbonato di calcio come abrasivo, mostra una elevata efficacia nella rimozione delle croste nere e delle pellicole. Sicuramente i parametri di lavoro devono essere attentamente controllati per minimizzare i danni provocati dall'impatto meccanico dell'abrasivo sulla compagine cristallina (dimensione media dell'abrasivo < 100 μm e pressione di esercizio < 0,25 bar). L'uso combinato dell'abrasivo e dell'acqua nel metodo a vortice (brevetto Rotec©) può essere dannoso: il metodo risulta non facilmente control-

vention. The impact of abrasive on the marble surface is ineffective and causes a serious damage on the stone crystals. Finally, the vortex micro-sandblasting using calcium carbonate as abrasive shows a high effectiveness in removing black crusts and films. Surely the working parameters have to be carefully controlled to minimize the mechanical impact on the marble (abrasive average size < 100 mm and working pressure < 0.25 bar). The combined use of abrasive and water in the vortex system can be quite dangerous: the method becomes not easily controllable and the treatment can cause severe surface decay if the pressure is rose up over the threshold of damage; therefore, the high efficiency of cleaning can compromise the complete success of the treatment and the durability of the conservation work.
The cleaning is a critical phase of the conservation work which affects the whole success and durability of the intervention, as far as a further damage to the surfaces can cause a new decay formation in very close time intervals.

labile ed il trattamento può causare un marcato danno superficiale se la pressione di esercizio viene aumentata oltre la soglia; quindi, l'elevata efficacia della pulitura può compromettere il completo successo del trattamento e la durabilità dell'intervento di conservazione.
La pulitura è dunque una delle fasi più critiche dell'intervento che può determinare il successo dell'intera operazione di restauro; l'incompleta rimozione dei prodotti del degrado e i danni di una pulitura inadeguata, possono innescare la formazione di nuovi processi degradativi.

METODOLOGIE DI PULITURA	SOGLIA DI DANNO	EFFICACIA DELLA PULITURA
Metodi chimici		
acqua nebulizzata	> 180'	250'
impacco chimico AB57	30'	/
impacco chimico NH_4CO_3	>60'	/
Metodi fisici		
Laser Nd-YAGλ 1064 nm	0,5 J/cm^2	1 J/cm^2
Laser Nd-YAGλ 532 nm	0,5 J/cm^2	0,5 J/cm^2
Metodi meccanici		
microaerabrasivatura (carbonato di calcio)	100µm - 0,25 bar	/
	500µm - < 0,25 bar	/
microaerabrasivatura (corindone)	100µm - < 0,25 bar	0,25 bar
microaerabrasivatura a secco con carbonato di calcio	100µm - 0,25 bar	0,25 bar
	500µm - < 0,25 bar	/
microaerabrasivatura ad umido a vortice con carbonato di calcio	100µm - 0,25 bar	0,25 bar
	500µm - < 0,25 bar	/

[Tabella 1 – Sintesi dei risultati analitici della sperimentazione: comparazione delle metodologie di pulitura per la rimozione delle croste nere dal marmo di Candoglia].

[Table 1 - Summary of the analytical results of the experimental work: comparison of cleaning methodologies to remove black crusts from Candoglia marble].

Ringraziamenti
Gli Autori desiderano ringraziare la Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano per la collaborazione e la fornitura del materiale lapideo (campioni di marmo da cava e pilastrini degradati).

Aknowledgements
The Authors wish to thank the Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano for the collaboration and supplying the marble and the decayed pillars.

4.
Prove di pulitura su piastrino in marmo di Candoglia: metodo Laser Nd-YAG
Marble sample cleaned by Nd-YAG

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

[1]
Normal 20/85, Interventi conservativi: progettazione, esecuzione e valutazione preventiva, Raccomandazioni NORMAL, Alterazione dei Materiali Lapidei e Trattamenti Conservativi, Proposte per l'Unificazione dei Metodi Sperimentali di Studio e di Controllo, CNR-ICR, centri di studio di Milano e Roma, 1985

[2]
Beck J., La mia carta dei diritti delle opere d'arte, in : ΑΝΑΓΚΗ , n° 1, 1993

[3]
Beck J., Sul restauro degli affreschi: l'arte di sponsorizzare l'Arte, in: ΑΝΑΓΚΗ, n°6, 1994

[4]
Panza P., Il battistero di Parma: dramma in quattro atti con prologo ed epilogo in: ΑΝΑΓΚΗ , n° 1, 1993

[5]
Baldini U., Il battistero di Parma: un 'restauro critico', in: ΑΝΑΓΚΗ , n° 2, 1993

[6]
Emiliani A., Parma: una storia senza fine, in: ΑΝΑΓΚΗ, n° 3, 1993

[7]
Lazzarini, L.; Laurenzi Tabasso, M., Il restauro della pietra, Padova, casa ed. Dott. Antonio Milani CEDAM, 1986

[8]
Ashurst, J.; Dimes, F. G., Conservation of building and decorative stone, Londra, Butterworth Heinemann, 1990

[9]
Biscontin, G.; Bakolas, A.; Longega, G.; Moropoulou, A.; Zendri, E., Proposta di una metodologia per la valutazione della pulitura di superfici lapidee in AAVV, La conservazione dei monumenti nel bacino del Mediterraneo, Proceedings of the 3rd international Symposium, Venezia 1994, a cura di Fassina, V.; Ott, H.; Zezza, F.,Soprintendenza ai Beni Artistici e storici di Venezia, Albignasego, La Photograph

[10]
De Witte, E.; Dupas, M., Cleaning poultices based on EDTA in AAVV, Proceedings of the 7th international congress on deterioration and conservation of stone: held in Lisbon, Portugal, 15-18 june 1992, a cura di Henriques, F.; Jeremias, F. T.

[11]
Ashurt, N., Cleaning Historic buildings, London, Donhead, 1994

[12]
Realini, M.; Sansonetti, A.; Toniolo, L.; Valentini, G., Valutazione in laboratorio dell'efficacia di pulitura e dell'interazione con il substrato di sorgenti laser a neodimio, erbio ed eccimeri in AAVV, Science and technology for the safeguard of cultural heritage in the mediterranean basin, 1st international congress, November 27-December 2, 1995, Catonia, Siracusa, a cura di Guarino, A., Palermo, Tipolitograph, 1998

[13]
Pasetti, A.; Bouineau, A.; J. Delgado, R., Pulitura dei materiali lapidei con metodo "laser". Valutazione dell'efficacia e della dannosità" AAVV, Protection and conservation of the cultural Heritage of the mediterranean cities, 5th International Symposium on the conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Seville, 2000, a cura di Galan E., Departimento de cristallografia, Mineralogia y Quimica AgricolaFacultad de Quimica, Universidad de Seville, Siviglia, casa editrice Editorial Kronos

[14]
Mazzinghi, P.; Salimbeni, R.; Morgheri, F.; Matteini, M.; Aldovrandi,A.; Laser cleaning of stone with a short pulse free running, Nd-Yag laser in AAVV, Science and technology for the safeguard of cultural heritage in the mediterranean basin, 1st international congress, November 27-December 2, 1995, Catonia, Siracusa, a cura di Guarino, A., Palermo, Tipolitograph, 1998

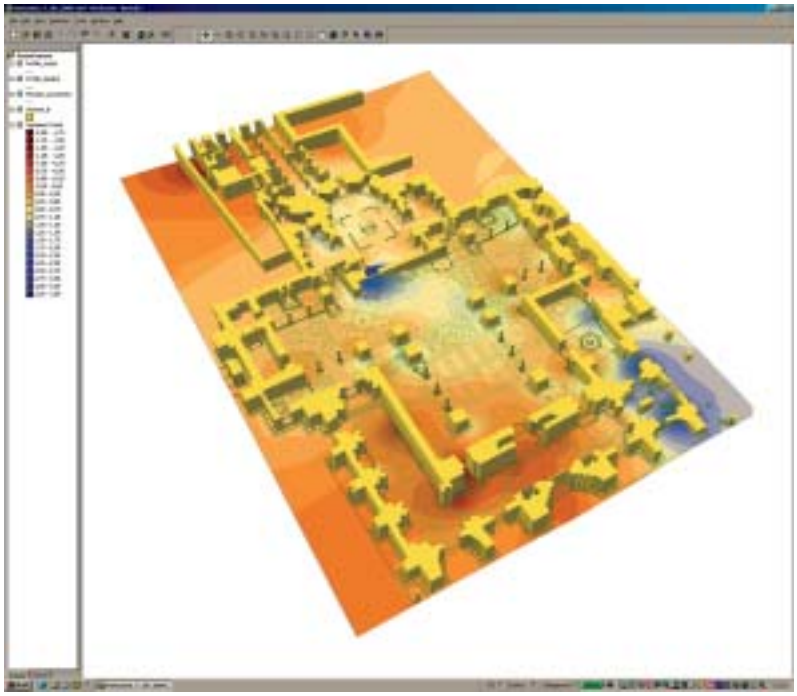
Carlo Monti
Raffaella Brumana
Luigi Fregonese
Cristiana Achille
Francesco Fassi
Federico Prandi
Giada Monti
Carlo Savi

Ortofoto digitale 3D a scala naturale del pavimento musivo della Basilica di San Marco a Venezia

Full-scale digitale 3D orthophotos of the mosaic floor in the St.Mark's Basilica in Venice

Il pavimento musivo della Basilica di San Marco si adagia sul sottofondo della chiesa marciana e risente delle anomalie del suo andamento originale e dei fenomeni di subsidenza differenziale: fino a quando non è stata riconosciuta al mosaico una valenza artistica pari a quella riconosciuta al dipinto o alla scultura, esso è sempre stato modificato nella sua conformazione e materialità. Nei restauri antichi l'ondularità del pavimento era eliminata e di conseguenza lo strato musivo veniva sollevato e rifatto, generalmente seguendo il disegno originario, ma spesso accadeva anche che fosse rinnovato secondo il gusto e le tecniche dell'epoca. Grandi maestri del Quattrocento e Cinquecento, come Paolo Uccello, Tintoretto, Veronese, Andrea del Castagno, Mantegna, Tiziano, chiamati a rifare parti di pavimento consumate o in cattivo stato, introdussero l'uso del cartone e sostituirono i sistemi tradizionali d'esecuzione delle opere musive.
Soltanto dalla seconda metà dell'Ottocento, nella Basilica di San Marco, si è sviluppato il concetto di conservazione e nelle pratiche di restauro e di manutenzione si è cercato di individuare il metodo più adatto a rappresentare e mantenere la complessità del monumento in tutte le sue forme.
La ricerca di un mezzo per descrivere con immediatezza il fenomeno dell'ondularità [Figura 1] e al tempo ottenere l'immagine fotografica del mosaico,

The mosaic floor of the St. Mark's Basilica stands on the subfloor of the St. Marks's Square church and is affected by the irregularities of its original layout and differential subsidence: before the mosaic was attributed with a specific artistic value on par with the value attributed to paintings or sculptures, the mosaic was frequently modified in its configuration and its materials. In historic renovations, renovators removed the undulation of the floor and as a result, had to raise and repiece the mosaic layer; they followed the original design most of the time, but it also happened that the pattern was changed around the suit the tastes and techniques of the time. The great masters of the 15th and 16th centuries, such as Paolo Uccello, Tintoretto, Veronese, Andrea del Castagno, Mantenga, and Titian were called to recreate worn or decaying portions of the floor, introducing the use of cardboard and replacing the traditional systems of executing mosaic works.
Only after the second half of the 19th century did the concept of conservation and maintenance in the renovation works in St. Mark's Basilica rise to prominence. Restorers attempted to understand the best way to represent and maintain the complexity of the monument in all of its forms.
Over the years, the search for a way to instantaneously describe the phenomenon of undulation [Figura 1] and at the same time, obtain the photographic image of the mosaic, in view of its use on site, has led scientists to give preference to 3D models of representation that have been gradually improved to achieve the current realization of a digital 3D orthophoto at a 1:1 scale. After a series of tests on methods and digital cameras have demonstrated the practical nature of the method, the scientists surveyed a section of the floor, for now just 800 m^2 on a total of 2,600 m^2 of paved surface



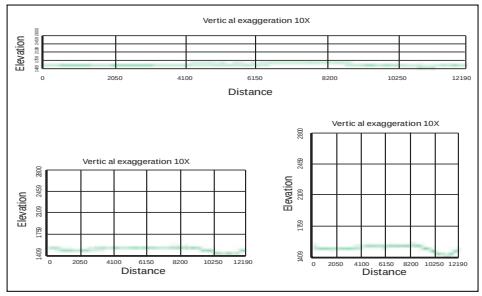
1.
Pianta prospettica della Basilica dove i colori indicano gli intervalli di quota interpolati su più di 1000 punti di livellazione geometrica. La zona evidenziata è quella restituita in ortofoto 3D
A perspective view of the Basilica; the colours stand for the intervals of quota interpolated on more than 1000 points of geometric levelling. The area highlighted is rectified in 3D orthophotos

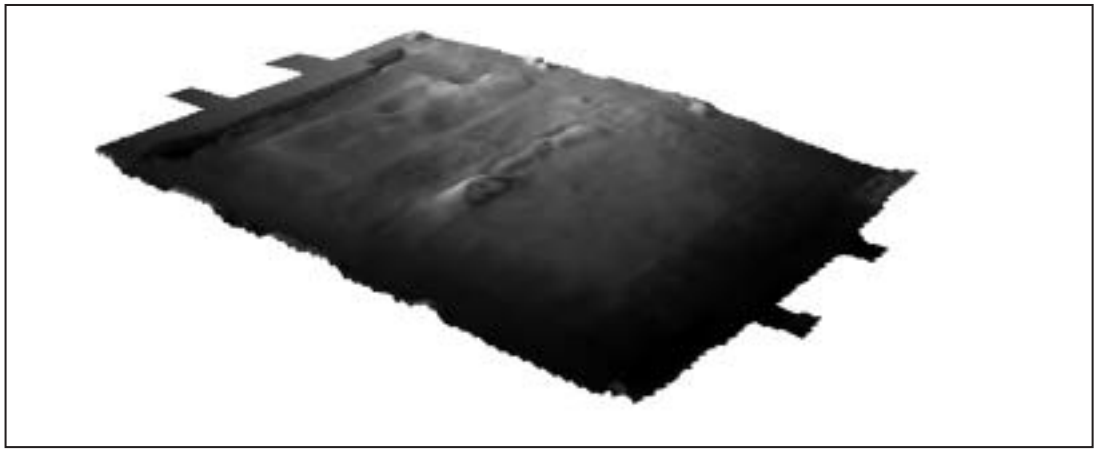
in vista di un utilizzo in cantiere, ha portato in questi anni a preferire modelli di rappresentazione tridimensionali che sono stati via via migliorati fino alla realizzazione attuale dell'Ortofoto Digitale 3D in scala 1:1. Dopo una serie di test su metodiche e camere digitali che hanno dimostrato la praticabilità del metodo si è proceduto al rilevamento di una porzione di pavimento, per ora 800 mq su un totale di 2600 mq di superficie pavimentale per un totale di 1700 prese preventivate, con restituzione dei primi 41mq, nella parte di accesso alla Camera del Tesoro, necessaria di restauro. L'Ortofoto Digitale 3D permette di documentare la disposizione e lo stato di conservazione d'ogni tassello del mosaico, e parallelamente fornisce informazioni sui livelli di quota di tutto il pavimento, direttamente estraibili dai restauratori e dai tecnici specializzati per la manutenzione.
Per ottenere questo è necessario elaborare l'ortofoto, applicando un raddrizzamento differenziale delle immagini fotogrammetriche realizzate (camera digitale Rollei DB44 Metric a 16 milioni di pixel, 1 pixel = 900 nm) e associando ad essa un modello tridimensionale del pavimento (DSM), che ne riproduce il reale andamento.

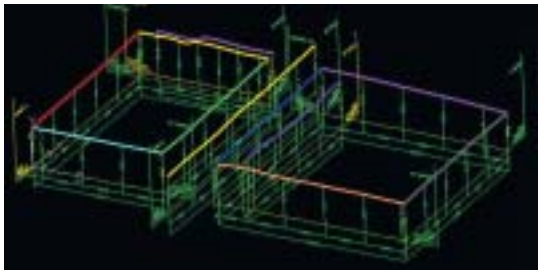
using an estimated total of 1700 images, with rectification of the first 41 m^2 in the section at the entrance to the Chamber of the Treasure, necessitating renovation. The 3D orthophoto can help document the arrangement and the state of repair of every mosaic tile while also providing information on the quota level of the entire floor, that renovators and specialized maintenance technologists can extrapolate directly.
To obtain this information, the orthophoto must be processed by applying a differential rectification of the photogrammetric images realized (Rollei DB44 Metric digital camera of 16 million pixels, 1 pixel = 900 nm) and associating it with a 3D model of the floor (DSM) that replicates its actual lay out.
In the survey project, in view of the camera adopted (which features an actual dimension sensor equal to 36.720 mm x 36.684 mm) and the precision that the survey much achieve, the dimension of the pixel is established on the ground equal to 0.5 mm, to enable a precise reading of the mosaic tiles. The image-taking system is similar to the one used in aerial photogrammetry for executing cartographic surveys. The camera sensor is kept parallel to the surface of the mosaic: the photo camera is

2.
Modello tridimensionale del pavimento (DSM) ottenuto con l'applicazione del software APEX e sul quale viene elaborata l'ortofoto. Le informazioni altimetriche possono essere facilmente estratte per la realizzazione di dime, con le quali è possibile confrontare la validità del modello rispetto alle quote reali della superficie musiva

3D model of the floor (DSM) obtained with application of the APEX software and on which the orthophoto is processed. The altimetric information can be easily extracted for making templates, with which it is possible to compare the validity of the model with respect to the actual quotes of the mosaic surface





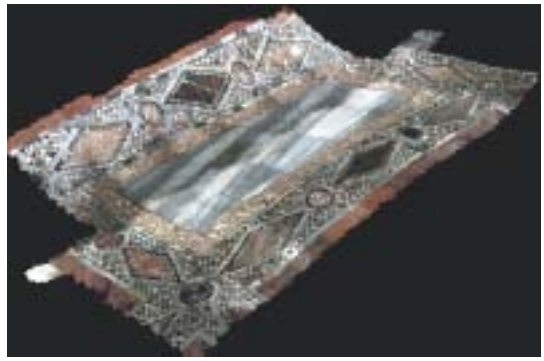


Nel progetto di rilievo, considerando le caratteristiche tecniche della camera adottata che dispone di un sensore di dimensioni effettive pari a 36,720 mm x 36,684 mm e la precisione che il rilievo deve raggiungere, è stata fissata la dimensione del pixel a terra pari a 0,5 mm, per consentire una precisa lettura delle tessere musive.
Il sistema di presa è analogo a quello della fotogrammetria aerea per la realizzazione di rilievi cartografici. Il sensore della camera è mantenuto parallelo rispetto al piano del mosaico: la macchina fotografica è montata su un carrello con una

mounted on a trolley with a nadir distance of the shot from the floor of 2.36 meters, making it possible to cover 2.1 x 2.1 m^2 for every photogram as a general rule. For the area already rectified, there are a total of 27 images, grouped into three proofs. Based on the coverage of every photographic shot and their overlapping, the distribution is arranged on the supporting points on the ground, as surveyed topographically with a totally motorized station and with a digital level to limit the measuring error of the quota of points less than one millimetre. In all, there were 70 support points, nine for

3.
Ortofoto 3D del pavimento di fronte all'ingresso del Tesoro
3D orthophoto of the floor in front of the entrance to the Treasure

4.
Ortofoto Digitale 3D di una porzione di pavimento musivo della Basilica
Detail of a Digital 3D orthophoto of the mosaic floor



distanza di presa nadirale dal pavimento di 2,36 m, consentendo un ricoprimento a terra per ogni fotogramma di 2,10 x 2,10 mq, questo in generale.
Per l'area già restituita si ha un totale di 27 prese, suddivise in tre strisciate.
In base al ricoprimento di ogni presa fotografica e alla sovrapposizione tra queste si è programmata la distribuzione a terra dei punti d'appoggio, rilevati topograficamente con stazione totale motorizzata e con livello digitale per contenere l'errore di misurazione della quota dei punti al di sotto del millimetro. In totale i punti di appoggio sono stati 70, nove per ogni immagine e distribuiti regolarmente con passo 85 cm x 75 cm sull'area di rilievo. Tutti sono stati utilizzati nel calcolo per l'orientamento delle prese attraverso la triangolazione aerea per stelle proiettive, ottenendo così un modello iperdeterminato e controllabile. Per la realizzazione dell'ortofoto [Figure 3 e 4[4]] e del modello tridimensionale si è utilizzato il software APEX PCI 7.0 e successivamente per la loro visualizzazione e per la gestione delle informazioni contenute nel DSM, il pacchetto ArcGIS 8.2 e ArcInfo 8.2 (ESRI). Le ventisette prese sono state poi importate nel programma APEX

every image, and were distributed uniformly with a 85 cm x 75 cm frequency on the survey area.
All have been used in the calculation for the orientation of the images through aerial triangulation by projective stars, obtaining a hyper specific and controllable model.
APEX PCI 7.0 software was used to construct the orthophoto and the 3D model [Figures 3 e 4]. Subsequently, to view them and to manage the information contained in the DSM, ArcGIS 8.2 and ArcInfo 8.2 (ESRI) suites were used. The twenty-seven images were then imported into the APEX programme in the tiff format without applying any compression algorithm that might cause resolution loss and thus the quantity and quality information of the images. The amount of data that the software must manage is thus very large since every image is an average of 48.7 MB for a total of 1.25 GB of information. The programmes used for viewing all the images concurrently use the *image pyramid* with eight descending levels of resolution, used according to the degree of zoom activated.
Creation of the DSM was optimised on a very dense mesh (15 mm x 15 mm, the more points

5.
Particolare di una Ortofoto 3D stampata alla scala 1:1 su supporto inestensibile confrontata direttamente con la superficie musiva. Oltre alla corrispondenza geometrica si riscontra un'ottima corrispondenza radiometrica, importante almeno quanto la prima per le operazioni di restauro

Detail of a 3D orthophoto printed at a 1:1 scale on an non-extensible support, compared directly with the mosaic surface. In addition to the geometric correspondence, we found an excellent radiometric correspondence, at least as important and the former before the renovation procedures

nel formato tiff senza applicare nessun algoritmo di compressione che porterebbe alla perdita di risoluzione e quindi di informazioni quantitative e qualitative delle immagini. La mole dei dati che il software deve gestire è di conseguenza molto consistente poiché ogni immagine è in media di 48,7 MB, per un totale di 1,25 GB di informazioni.
I programmi utilizzati per visualizzare tutte le immagini contemporaneamente ricorrono alla cosiddetta *piramide d'immagine*, con otto livelli di risoluzione via via decrescenti, utilizzate secondo il grado di zoom attivato.

used, the truer the three dimensional model created) starting with the topographical points and photographic images of the block oriented by autocorrelation of the image on the point model, for a total of more than 182.000 points quota.
The degree of surface smoothing can be established as well as any introduction of the breakline that might still respect the real conformation of the floor in the presence of full blown fractures, as in the case in question.
A one millimetre maximum error exists among the topographic quotas of the support points and the

La creazione del DSM è stata ottimizzata su una maglia (15 mm x 15 mm) molto fitta (maggiore è il numero di punti e più veritiero sarà il modello tridimensionale creato) a partire dai punti topografici e dalle immagini fotografiche del blocco orientate per autocorrelazione d'immagine sui punti modello, per un totale di poco più di 182.000 punti quota.
È possibile stabilire anche il grado di *lisciamento* (smoothing) della superficie e l'eventuale inserimento di breakline che potrebbero ancora di più rispettare la reale conformazione del pavimento in presenza di vere e proprie fratture, come nel caso in questione.
L'errore massimo tra le quote topografiche dei punti d'appoggio e quelle dei punti misurati sul modello dopo la triangolazione e dopo la creazione del DSM, è contenuto nel millimetro.
Una volta realizzato, è stato possibile estrarre dal DSM in ambiente ArcGIS e ArcInfo tutte le informazioni che riguardano l'andamento altimetrico estraendo profili [Figure 2 e 5[4]] lungo le sezioni più significative e ricavando dime che sono state confrontate direttamente in cantiere con la superficie del pavimento per verificare la correttezza del modello. Il restauro e la manutenzione del mosaico secondo le metodologie tradizionali prevede l'individuazione, la temporanea rimozione e il riposizionamento (o la puntuale sostituzione) delle parti danneggiate, rispettando i connotati altimetricamente irregolari tipici del pavimento. In passato si ricorreva ai calchi, sui quali rimaneva impressa la disposizione delle tessere e su cui veniva riportato il colore di ognuna di esse; ora, con l'ortofoto 3D si raggiunge il medesimo risultato con un dispendio di energie sempre alto, ma con l'enorme vantaggio della tridimensionalità dell'immagine e della sua georeferenziazione che è la base per la costruzione di un Sistema Informativo che relazioni documenti storici (rilievi, disegni, mappe…) con rilievi moderni e permetta confronti fra nuovo e vecchio utilizzando trasformazioni globali o anche tecniche di warping e morphing. L'ortofoto, elaborata sulla base delle informazioni altimetriche raccolte e rappresentate dal DSM con impostata un'alta definizione dell'immagine, rende possibile la chiara lettura delle tessere, delle loro caratteristiche dimensionali, delle loro caratteristiche radiometriche e petrografiche, e dello stato di conservazione di ognuna di esse.

quotas of the points measured on the model after triangulation after creating the DSM.
Once constructed, all the information that involve the altimetric trend can be extracted from the DSM in an ArcGIS and ArcInfo environment by extracting profiles [Figures 2 e 5] along the most significant sections and drawing templates that have been compared directly in the site with the surface of the floor to verify the correctness of the model.
Renovation and maintenance of the mosaic using the traditional methodologies entails identification, temporary removal and repositioning (or a point by point substitution) of the damaged parts, respecting the altimetrically characteristic traits of the floor.
In the past, scientists manually traced the tiles in the floor so that their placement on the floor remained impressed on paper and then filled in each with colour; today, the 3D orthophoto can help us reach the same result, with the same efforts and work, but with the enormous advantage of the three dimensionality of the image and its georeferencing that is then the basis for constructing an information system that relates historic documents (surveys, drawings and maps...) with modern surveys and allows comparisons between the new and the old, by using global transformation or even warping and morphing.
The orthophoto, created based on the altimetric information gathered and represented by the high definition image of the DSM set, makes possible the clear reading of the tiles, their dimensional characteristics, the radiometric and petrographic characteristics and the state of repair .

Alessandro Facchini
Carlo Enrico Bottani

Caratterizzazione e processo di restauro di pergamene antiche

Characterisation and Conservative Restoring Process of Ancient Parchments

Le più antiche testimonianze di scrittura su pelli risalgono alla quarta dinastia egizia (2700 a.C.) ed è con l'adozione da parte dei popoli assiri (800 a.C.) dell'aramaico, praticamente impossibile da incidere su tavolette di argilla, che viene introdotto l'uso della pergamena [1]. I metodi di lavorazione, diversi da quelli del cuoio e sostanzialmente basati sulla depilazione, tensione su telai e successive bagnature, raschiature e asciugature di pelli varie e più diffusamente di ovini, sono noti dall'antichità e sono rimasti praticamente inalterati nel tempo.
La sostanza base della pergamena è il derma (l'epidermide e l'ipoderma sono stati allontanati nella lavorazione), costituito da un fitto intreccio di fibre di collagene fissate da una matrice a base di glicoproteine e proteoglicani che agisce da gel reversibile. Le proprietà variano nello stesso foglio di pergamena (dorso, ventre, ascelle, ecc.) e a seconda dell'età e dell'alimentazione dell'animale dalla pelle del quale essa è stata ricavata nonché dalle condizioni ambientali in cui l'animale è vissuto. Ciò spiega le difficoltà che si incontrano nell'individuare proprietà misurabili della pergamena, di validità generale e sufficienti per caratterizzarla, e quindi idonee per validare un possibile processo di restauro conservativo.
Per raggiungere questo scopo il Dipartimento di Ingegneria Nucleare ha avviato nel 1997 una rete di indagini atta a:
a) sviluppare a livello multiscala l'esame delle

Earliest records of writing on skins date back to the Fourth Egyptian Dynasty (about 2700 b.C) and the adoption by Assirian Peoples (about 800 b.C) of Aramaic script, not suitable on clay tablets, introduced parchment use [1]. Parchment manufacturing methods are known from antiquity and they remained substantially unchanged along the centuries. Unlike leather, animal skins, and more commonly sheep and goatskins, are stretched on frames after dehairing and they are repeatedly wetted, scraped and dried to produce smooth parchment sheets.
A dense weaving of collagen fibbers fixed in a glicoproteins and protoglicans matrix forms the derma from which parchment is made (epi- and ipo- dermis are removed during manufacturing).
It is indeed hard identifying parchment measurable intrinsic properties allowing full parchment characterisation and therefore validation of a feasible conservative restoring process. Actually, they change in a sheet according to the position (back, belly, armpit, etc.) to the age, the diet of the animal supplying the parchment and to the environment where it lived. To achieve this goal, a research network has been set up since 1997 at the Nuclear Engineering Department of Politecnico di Milano in view of:
a) promoting a multiscale examination of the morphological, mechanical, structural and physico-chemical properties of ancient parchments;
b) assessing the efficiency of a restoring treatment of fire damaged ancient parchments.
Libraries and museums have often suffered by fires and floods after a fire, as it happened in the hold building of Biblioteca Nazionale Universitaria di Torino, which suffered a dramatic fire in 1904. Many of the manuscripts were lost (such as the manuscript of the duke de Berry illuminated by Van Eick). Fortunately, many others were recovered but their pages appear now twisted, hard and shrinked in all directions [Figure 2]. Moreover many of them are bound in compact blocks [Figure 1] by the adhesive substance coming from the collagen damage. Therefore, a great challenge would be bringing them back to such a state as to allow lecture of the cultural message they hold.
An agreement has been signed with the Italian Ministry of Cultural Goods and Activities concerning parchment restoring and examination techniques developed by the Nuclear Engineering Department of Politecnico di Milano. These techniques have been adopted for the document: *Tender for conservative restoring of parchment manuscripts*

1.
Manoscritto membranaceo del XV secolo danneggiato da fuoco. (Per gentile concessione della Biblioteca Nazionale Universitaria di Torino)

Fire-damaged parchment manuscript of the XV century. (kindly authorised by Biblioteca Nazionale Universitaria di Torino)

2.
Pagina di un manoscritto membranaceo del XV secolo danneggiato da fuoco.
(Per gentile concessione della Biblioteca Nazionale Universitaria di Torino)

Page of a fire-damaged parchment manuscript of the XV century. (kindly authorized by Biblioteca Nazionale Universitaria di Torino)

proprietà morfologiche, meccaniche, strutturali e fisico-chimiche di pergamene antiche;
b) definire un processo di restauro conservativo di pergamene antiche danneggiate da fuoco.
Biblioteche e musei hanno spesso subìto danni causati da incendi e dall'acqua di spegnimento, come ad esempio accadde nel 1904 alla Biblioteca Nazionale Universitaria di Torino. Molti manoscritti andarono perduti (fra essi la parte di proprietà della B.N.U. del Libro delle Ore del Duca di Berry, miniato dai fratelli Van Eick). Molti altri furono raccolti come pagine separate, dure e fragili, contratte in tutte le direzioni [Figura 2] o ridotti a blocchi compatti di pagine contorte e saldate fra loro dalla sostanza adesiva generata dalla degradazione del collagene [Figura 1].
Interventi di restauro sui manoscritti meno danneggiati furono eseguiti nei decenni trascorsi; altri costituiscono oggi una sfida per riportarli ad uno stato che consenta la lettura e la conservazione del messaggio culturale in essi contenuto.
Le metodologie di restauro e analitiche sviluppate dal Dipartimento di Ingegneria Nucleare del Politecnico di Milano sono state oggetto di una Convenzione con il Ministero per i Beni e le Attività

damaged by the 1904 fire, which severely spoiled the Biblioteca Nazionale Universitaria di Torino.

The conservative restoring process

The first objective of the process is parchment softening and hydration to restore page flexibility dissolving at the same time the adhesive substance coming from the collagen damage. This is obtained by exposing the manuscript to a vapour atmosphere of water, ethyl and n-butyl alcohol for a time varying from few hours to some days, according to the manuscript characteristics (dimensions, damage importance, etc.). This allows splitting off easily the manuscript pages [5], [6]. A high degree of parchment softening is the result of the combined action of water and alcohol vapours, which dissolve the ground substance (matrix material behaving as a reversible gel) surrounding the collagen fibres and promote the reorganisation of the fibre typical structure.
Treatment of parchment with hydro-alcoholic solution of urea and NaCl [8] at low concentrations (1-2% wt) proved useful to improve the elasticity of the material without unwanted effects. Parchment fibres tend to regain the original elastic and structu-

Culturali e la Biblioteca Nazionale Universitaria di Torino le ha adottate nel *Capitolato tecnico di restauro dei manoscritti membranacei danneggiati nell'incendio del 1904*.

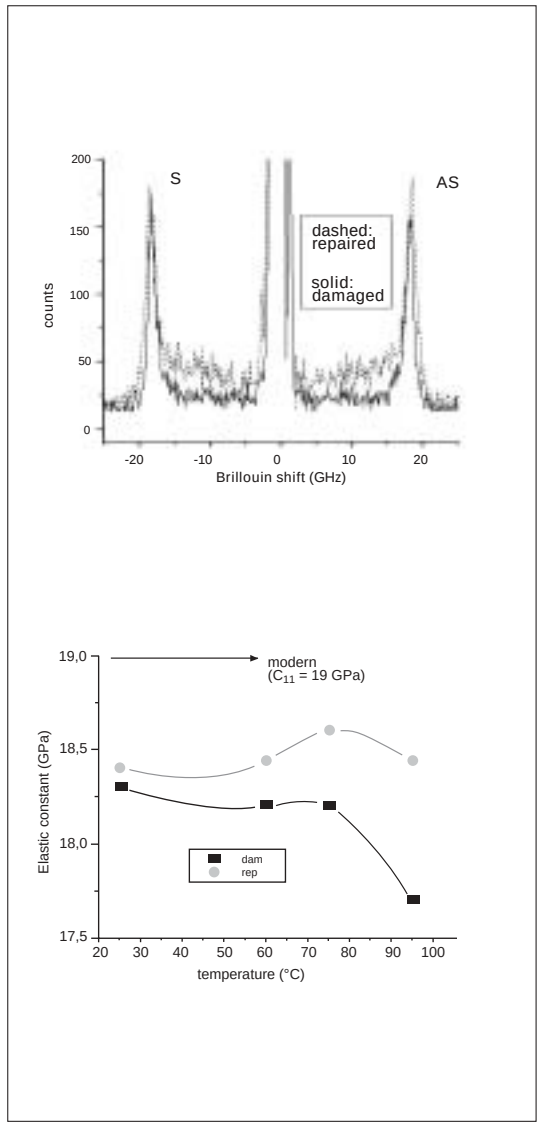
Il processo di restauro conservativo

Il primo obiettivo del processo è l'ammorbidimento e l'idratazione della pergamena danneggiata per restituire flessibilità alle pagine e sciogliere la sostanza adesiva formatasi con il danneggiamento del collagene. Ciò viene conseguito esponendo il manoscritto a vapori di acqua, alcol etilico e alcol n-butilico per un tempo che può variare dalle poche ore ad alcuni giorni a seconda delle sue caratteristiche (dimensioni, gravità del danno, ecc.) sino a consentire la separazione delle pagine [5], [6].
L'elevato grado di ammorbidimento della pergamena è il risultato dell'azione combinata dei vapori adsorbiti di acqua e alcoli (l'alcol n-butilico ne prolunga la durata). Essi ammorbidiscono la sostanza adesiva formatasi e la matrice del derma che fissa le fibre di collagene e favoriscono la riorganizzazione strutturale tipica delle fibre di collagene. Il trattamento della pergamena con soluzione idroalcolica di urea [8] e cloruro sodico a basse concentrazioni (1-2% p.) si è dimostrato efficace per aumentarne l'elasticità e non provoca effetti collaterali indesiderati: le fibre tendono infatti a riacquistare più efficacemente le proprietà strutturali e di elasticità originali.
Pertanto, prima di immergere per breve tempo in detta soluzione le pagine separate nella fase di ammorbidimento, su di esse vengono eseguite prove di solubilità con la soluzione idroalcolica di urea e cloruro sodico degli inchiostri e dei pigmenti presenti. In caso di esito positivo, si provvede al fissaggio degli inchiostri e dei pigmenti mediante applicazione a pennello di un fissativo idoneo.
Dopo lavaggio con una soluzione idroalcolica pura, le pagine vengono tese su telai o su tavole magnetiche e lasciate asciugare in aria ambiente. L'eventuale consolidamento delle pagine dopo asciugatura con velature parziali costituisce normale prassi dei restauratori e conclude le operazioni di restauro conservativo.

Tecniche analitiche per la caratterizzazione delle pergamene

Pergamene antiche prima e dopo il trauma da fuoco ed il trattamento di restauro sopra descritto sono state esaminate con tecniche analitiche a diversi

3.
Dipendenza delle proprietà elastiche mesoscopiche della pergamena dalla temperatura misurate mediante la spettroscopia Brillouin. Nella parte superiore della figura: spettri Brillouin originali
Below: mesoscopic elastic properties of parchment vs temperature as measured by means of Brillouin spectroscopy. Above: raw Brillouin spectra



livelli di scala (molecolare, mesoscopica, micro e macro-metrica) [2], [3], [4] consentendo la conferma reciproca e l'interpretazione dei risultati ottenuti.
Per le analisi distruttive sono stati prelevati campioni contigui di pergamena di pochi milligrammi.

Spettroscopia vibrazionale (IR, Raman, Brillouin)

A livello molecolare, la spettroscopia IR e Raman oltre a mostrare chiaramente la struttura a catene polipeptidiche del supporto membranaceo e la presenza di sostanze inorganiche dovute al processo di fabbricazione ($CaCO_3$) o alle vicissitudini subite nel tempo, rivela l'eventuale presenza di sostanze malaccortamente addizionate durante il processo di restauro, contravvenendo al protocollo di intervento. Inoltre l'analisi comparativa degli spettri ottenuti in funzione della temperatura da campioni di pergamena danneggiata da fuoco e restaurata descrive il processo di restauro come assunzione nel materiale di acqua legata chimicamente con conseguente riorganizzazione strutturale. Ciò è confermato dalle analisi calorimetriche e dall'esame al microscopio elettronico a trasmissione (TEM) e al microscopio polarizzatore (PLM). La spettroscopia Raman ha consentito inoltre di individuare la composizione di inchiostri e pigmenti inorganici ed organici (vegetali ed animali) [7]. Le misure di scattering Brillouin [3] in funzione della temperatura della pergamena prima e dopo i trattamenti confermano anch'esse i risultati degli esami IR e Raman ed aggiungono ulteriori informazioni sulle proprietà elastiche locali a scala mesoscopica della rete di fibre di collagene.

Microscopia (PLM, PCM, TEM, SEM)

La microscopia in luce polarizzata (PLM) di pergamene antiche non danneggiate da fuoco, e di quelle danneggiate e sottoposte a trattamento, evidenzia una tipica architettura consistente in fasci di strutture intensamente birifrangenti immerse in abbondante materiale granulare e la rotazione dei campioni rispetto al piano di polarizzazione mostra la sezione delle strutture birifrangenti. Tutto ciò non si osserva in campioni di pergamena danneggiata e non sottoposta a trattamento, i quali mostrano invece ampie zone isotrope e granuli intensamente birifrangenti. In contrasto di fase (PCM) le zone isotrope appaiono come strutture omogenee di forma sferica o di corti segmenti ondulati. La microscopia elettronica a trasmissione (TEM) consente di verificare che le strutture birifrangenti cor-

ral properties and they are rearranged in a planar network by drying the manuscript page in ambient air under stretching. Solubility tests of inks and pigments with the urea/NaCl hydroalcolic solution are performed before dipping parchment pages in the solution. If so, inks and pigments are protected by an appropriate fixer before dipping and then the pages are stretched and dried on frames or on magnetic tables.

Analytical techniques for parchment characterisation

To quantitatively characterise the parchment before and after the damage and/or the various steps of the restoring process, several tests have been set up with a multiscale approach (molecular, mesoscopic, micro- and macro-metric) [2],[3],[4]. This allowed a correct interpretation of the results and their mutual confirmation. Adjoining samples of few milligrams were taken to perform destructive analysis.

Vibrational spectroscopy (IR, Raman, Brillouin)

At the molecular level IR and Raman spectroscopy [3] clearly demonstrate the presence of inorganic and/or organic compounds, in addition to the parchment structure mostly consisting of polypeptide chains. The foreign compounds may be due to the parchment manufacturing process ($CaCO_3$) to its life vicissitudes or to substances unwisely added during the restoring process. Moreover the comparative analysis in the temperature range 25-110 °C of the spectra on fire damaged and restored parchments describes the restoring process as a swelling process made possible by water molecules chemically linked, with a consequent structural reorganisation of the material. This conclusion is confirmed by the calorimetric analysis and by microscopy (PLM, TEM). Raman spectroscopy allows the identification of inks and pigments. Brillouin spectroscopy measurements vs. temperature are not only compatible with the IR and Raman investigations, but do add further information at mesoscopic scale on the local elastic properties of the collagen fibre network composing parchment structure.

Microscopy (PLM, PCM, TEM, SEM)

Polarised Light Microscopy on undamaged and on repaired parchments shows a typical architecture consisting of intensely birefringent fibre bundles embedded in abundant granular material. Rotation of the sections with respect to the plane of polarisa-

rispondono a fasci di fibrille di collagene periodicamente disposte, come mostrano le tipiche immagini consistenti in fitte tessiture di fibre con fibrille periodicamente bandeggiate.
Le immagini tratte da campioni di pergamena danneggiata e non sottoposta a trattamento mostrano invece masse di materiale cotonoso, che solo raramente evidenzia un disegno organico che possa suggerire una struttura fibrosa. La microscopia elettronica a scansione (SEM) permette di osservare la disposizione dei fasci di fibre, eminentemente planare nella pergamena non danneggiata o correttamente restaurata.

Calorimetria (TGA, DSC)

La calorimetria fornisce informazioni a livello macroscopico atte a confermare e meglio interpretare i risultati delle tecniche submicrometriche precedentemente menzionate.
Confermato il maggior contenuto di acqua (TGA) nei campioni di pergamena integra o restaurata, la calorimetria differenziale a scansione (DSC) [4] rivela un diverso andamento del calore specifico in funzione della temperatura per la pergamena danneggiata da fuoco rispetto a quelli da pergamena integra o restaurata (fra loro simili). Inoltre la presenza di un picco endotermico nel grafico ricavato per la pergamena danneggiata e non restaurata può essere attribuito alla denaturazione delle fibre contenenti fibrille meno strettamente legate.

Analisi di superficie (PSD, DVS, MH)

Sono anch'esse tecniche analitiche a livello macroscopico [2] che evidenziano una diversa distribuzione dei pori (PSD) e diverse isoterme di adsorbimento/desorbimento (DVS) di vapore d'acqua nella pergamena danneggiata rispetto a quelle riferentesi a pergamena restaurata.
Dalle isoterme si è dedotto che il calore di assorbimento di vapore d'acqua della pergamena danneggiata da fuoco è minore di quello relativo alla stessa pergamena dopo trattamento di restauro (circa 45 kJ/mol), il che significa che l'energia di attivazione richiesta per la reidratazione della pergamena danneggiata è maggiore di quella richiesta dalla pergamena restaurata.
I risultati delle misure di microindentazione (MH) soffrono di notevole dispersione dovuta alla morfologia stessa della pergamena.
Tuttavia essi sono coerenti con quelli ottenuti per spettroscopia Brillouin e mostrano un indubbio

tion reveals crossing of birefringent structures at different angles.
Fibre bundles are no longer recognisable in fire damaged parchment which only displays isotropic areas and strongly birefringent granules.
At the phase contrast microscope, isotropic areas appear as homogeneous, densely packed structures, either round-shaped or in form of short wavy segments. TEM investigations allow to state that the birefringent structures correspond to bundles of collagen periodical fibrils as shown by the dense texture of fibres with periodically banded fibrils.
Fire damaged parchment appears to mostly consist of irregular clumps of a dense cotton-like material that only rarely displays a more organised pattern suggesting the presence of a fibrous structure. SEM examinations of correctly restored parchment show the planar network of the fibre bundles, which is typical of undamaged parchment.

Calorimetry (TGA, DSC)

Informations at macrometric level thermodynamically explaining the results obtained at submicrometric level are obtained by calorimetric techniques. A higher water content in undamaged and in restored parchment with respect to the fire damaged one is confirmed by TGA. Moreover DSC trace of damaged parchment is remarkably different from those of undamaged and of restored parchment [4]. The excess heat capacity trace with respect to the native state shows on endothermic peak, which can be attributed to the denaturation of less tightly cross-linked fibrils.

Surface investigation (PSD, DVS, MH)

A different Pore Size Distribution and different water vapour ads./des. isotherms are shown by fire damaged parchment respect to those of the restored one. The water adsorption heat on the fire damaged parchment is always lower than that on the restored one meaning that the activation energy for rehydroxylating the fire-damaged parchment is higher than that of the restored one. Due to the parchment morphology results of microindentation measurements are remarkably scattered. Nevertheless they are consistent with those obtained by Brillouin scattering and they show that the restoring process increases the parchment elastic module.

aumento del modulo elastico della pergamena dopo il trattamento di restauro.

Conclusioni

Il processo di restauro conservativo di pergamene antiche danneggiate da fuoco sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria Nucleare del Politecnico di Milano si è dimostrato efficace agli esami multi-scala. Le tecniche analitiche messe a punto hanno mostrato un recupero delle proprietà strutturali e fisico-chimiche delle pergamene dopo il trattamento dovuto alla parziale riorganizzazione delle fibrille di collagene. Di conseguenza anche le proprietà morfologiche e meccaniche riacquistano valori paragonabili a quelli di pergamene antiche integre. L'insieme delle conoscenze e delle tecniche acquisite potrà essere utilizzato per il restauro conservativo del patrimonio culturale librario.

Conclusions

The process developed by the department of Nuclear Engineering of Politecnico di Milano proved effective to restore parchment of ancient and fire-damaged manuscripts as from the results of a multiscale investigation. All the parchment characterisation techniques showed a substantial recovery of the structural and physico-chemical properties after the parchment treatment due to a partial rearrangement of the collagen fibrils. As a consequence of this, morphological and mechanical properties recover acceptable values.
The whole knowledge and the acquired analytical techniques can be utilised for the conservative restoring of the book cultural heritage.

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

[1]
R.Reed, Ancient Skins Parchments and Leathers, Seminar press, London and New York (1972)

[2]
A. Facchini - C. Malara - G. Bazzani E P. L. Cavallotti, Ancient Parchment Examination by Surface Investigation Methods, Journal of Colloid and Interface Science 231, (2000) pp. 213-220

[3]
E. Mannucci - R. Pastorelli - G. Zerbi – C .E. Bottani e A. Facchini, Recovery of ancient parchment: characterization by vibrational spectroscopy, Journal of Raman Spectroscopy 31, (2000) pp. 1089-1097

[4]
D. Fessas, A. Schiraldi, R. Trenni, L. Vitellaro Zuccarello, A. Bairati e A. Facchini, Calorimetric, biochemical and morphological investigations to validate a restoration method of fire injured ancient parchment, Termochimica Acta 348, (2000) pp.129-137

[5]
A. Facchini, M. F. Fancinelli, A. Bairati, C. E. Bottani, P. L. Cavallotti, D. Fessas, A. Schiraldi, G. Zerbi, Restoring Process and Characterisation of Ancient Damaged Parchments, Quinio 3, (2001) pp 51-70

[6]
Von H. Stachel Berger, G. Banik und A. Haberditzl, Natur wissenschaftliche Untersuchungen zum Pergament: Methoden und Probleme, in Pergament, Thorbecke (1991) pp. 183 – 194

[7]
S. Bruni – F. Cariati – F. Casadio – L. Toniolo, Identification of pigments on a XV century illuminated parchment by Raman and FTIR microspectroscopies, Spectrochimica Acta Part A, 55 (1999), pp. 1371-1377.
G. Banik, Parchment, in Conservazione dei Materiali Librari, Archivistici e Grafici, Vol.1 Torino (1993) p.361

Carlo Mapelli
Walter Nicodemi
Roberto Venturini

Studio dei fenomeni di degrado di canne in lega metallica appartenenti ad organi musicali italiani di diverse epoche

Study of the deterioration of metal alloy organ pipes from different periods in Italy

Gli organi musicali sono dei sistemi meccanici estremamente complessi e per certi versi assai delicati, dato che i materiali che li compongono possono essere aggrediti dagli agenti ambientali. L'arte organaria italiana ci ha consegnato nei secoli un inestimabile patrimonio culturale, che ha rappresentato ed è tuttora una parte integrante nella formazione e nello sviluppo della tradizione musicale italiana [Figura 1]. Ogni organo presenta particolari caratteristiche di sonorità che dipendono dal tipo di materiali utilizzati, dalle tecniche utilizzate per la loro lavorazione, nonché dalle modalità di assemblaggio dei componenti. Ognuno di questi aspetti era il frutto di un patrimonio di conoscenze sviluppato da ogni bottega organaria e gelosamente custodito, tanto che gli strumenti musicali realizzati da diverse botteghe presentano differenze nella sonorità che possono essere chiaramente avvertite anche da ascoltatori non esperti.
Le canne in lega metallica degli organi musicali sono un componente fondamentale per conseguire la desiderata qualità sonora dello strumento, ma esse sono soggette a dei fenomeni di degrado progressivo che nel tempo può portare al danneggiamento delle loro superfici o, addirittura, alla foratura delle stesse. L'attività della Sezione Materiali

Pipe organs are highly complex mechanical systems and quite delicate in some respects in that their component materials are prone to environmental attack. The Italian art of organ building has over the centuries handed down to us a priceless cultural heritage, which has always represented a key factor in forming and developing the Italian musical tradition [Figure 1]. Each organ has special sound characteristics, depending on the type of materials used, the techniques adopted to process these materials and the method of assembly of the components. Each of these aspects was the outcome of the expertise developed by every organ-making workshop and a closely kept secret, to the extent that the musical instruments made by the various workshops have differences in resonance which can be heard plainly even by the less knowledgeable listener.
Organ pipes in a metal alloy are essential components in achieving the required sound quality of the instrument, however they are prone to gradual deterioration, which in time can lead to damage or even holes in their surfaces. Work at the Materials for Mechanical Applications Section of the Department of Mechanics was carried out together with some Italian organ-making workshops and focused on the study of pipes of mechanical organs in various regions of Italy dating from the eighteenth century onwards. This research aimed at:
- discovering the causes and features of the deterioration process;
- evaluating possible remedies;
- finding means of preventing damage.
Studies carried out at the Politecnico di Milano, as part of research which also provided training opportunities for students in materials engineering, focused on organ pipes with a tin alloy base which, due to their attractive shine, are used as façade pipes.
There is widespread belief that damage to organ pipes is caused by an alteration in crystals leading to changes in the lattice of the tin from tetragonal to cubic as a result of a drop in temperature. Knowledge of the transformation of the crystal lattice in pure tin tells us that it takes place at 13.2°C and reduces the tin to a grey powder. This process is known as *tin disease* or *tin plague* and involves both aesthetic damage and an irreversible structural alteration [Figure 2]. Moreover the significance of this phenomenon has hitherto been unknown, not so much in the case of pure tin but in that of tin alloys. Even if it should occur, it has not been clear

1.
Esempio di organo storico: Chiesa di S.Giacomo Maggiore, INZOLI Cav. Pacifico & Figli, 1912
A historical organ in the church of S.Giacomo Maggiore, INZOLI Cav. Pacifico & Figli, 1912

per Applicazioni Meccaniche del Dipartimento di Meccanica è stata svolta in collaborazione con alcune botteghe organarie italiane e si è concentrata sullo studio di canne di organi musicali meccanici localizzati in diverse regioni italiane e costruiti a partire dal XVIII secolo.
Tale attività di ricerca è finalizzata a cogliere:
- cause e caratteristiche del processo di degrado;
- valutazione dei possibili rimedi;
- modalità di prevenzione del danneggiamento.
Negli studi realizzati presso il Politecnico di Milano, nell'ambito di una ricerca che è stata anche occasione per l'attività di formazione degli studenti di Ingegneria dei Materiali, ci si è concentrati sulle canne d'organo a base di lega di stagno che, per le loro caratteristiche estetiche di lucentezza, vengono utilizzate per la costruzione delle canne di facciata.
È ampiamente diffusa la convinzione che il danneggiamento delle canne d'organo sia causato da una trasformazione a livello cristallino, che comporta la trasformazione del reticolo dello stagno da tetragonale a cubico a seguito dell'abbassamento della temperatura. In base alle conoscenze relative alle trasformazione del reticolo cristallino dello stagno puro, è noto che essa ha luogo a 13.2°C e riduce lo stagno in forma pulverulenta e gli conferisce una colorazione grigia. Un tale processo è noto come *cancro dello stagno* o *peste dello stagno* e implica sia un danno estetico che un'alterazione strutturale non reversibile [Figura 2]. D'altra parte, non è finora conosciuto quanto questo fenomeno sia rilevante, non tanto nel caso dello stagno puro, ma in quello delle leghe di stagno. Anche se tale fenomeno dovesse verificarsi, non è sinora stato chiaro se il cambiamento di temperatura sia il fattore scatenante o se anche altri agenti siano in grado di attivare la trasformazione.
Per rispondere a tali domande è stato necessario

to date whether it is triggered by the change in temperature or whether other factors are responsible for the change.
To answer these questions it was necessary to set up an experimental research method aimed at obtaining results for various aspects, which, when integrated, can provide a solution to the problems briefly described above.
The technique chosen to indicate the possible onset of the crystal transformation in the tin alloys studied is that of differential scanning calorimetry (DSC). This technique consists of placing from 50

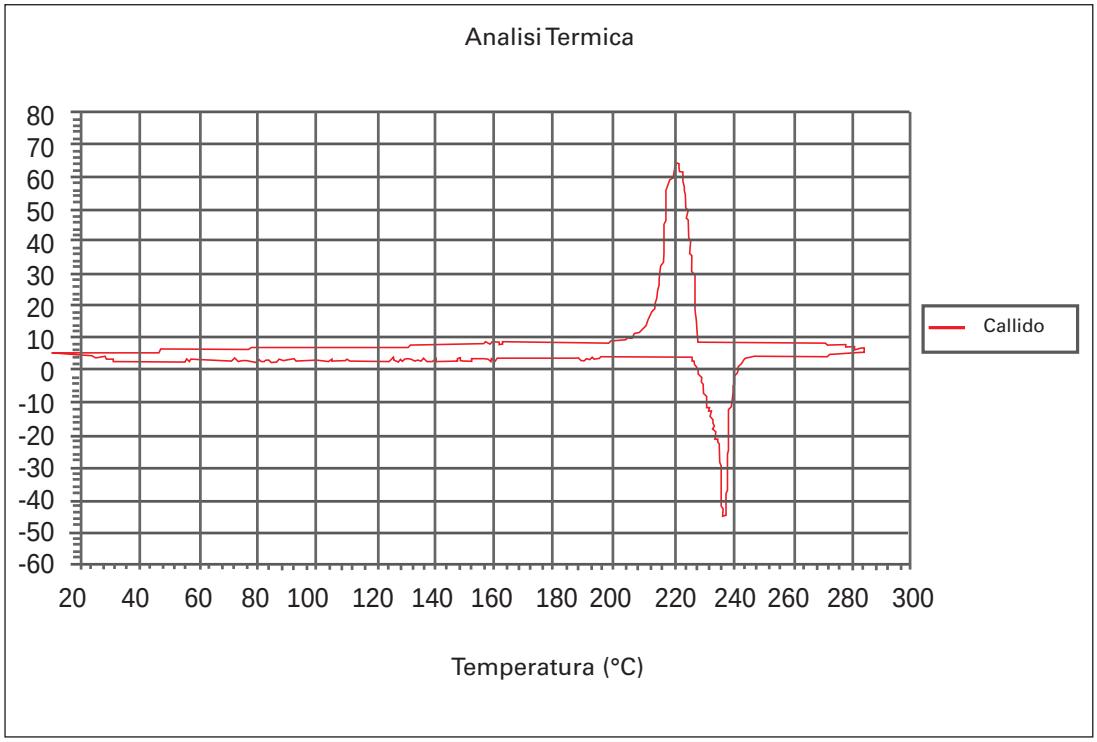
organizzare una procedura di indagine sperimentale mirata ad ottenere risultati relativi a diversi aspetti, la cui integrazione può consentire di rispondere alle problematiche esposte sinteticamente.
La tecnica scelta per evidenziare l'eventuale insorgenza della trasformazione cristallina nelle leghe di stagno studiate è quella della scansione calorimetrica differenziale (DSC-Differential Scanning Calorimetry). Tale tecnica consiste nell'inserire da 50 a 100 mg del materiale studiato in un forno dotato di sensori termici in grado di percepire emissioni ed assorbimenti di calore da parte della lega metallica durante un ciclo termico. Tale tecnica si basa sul fatto che le emissioni o gli assorbimenti di calore si realizzano in corrispondenza di trasformazioni dello stato fisico dei materiali (transizioni da liquido a solido e viceversa) o della loro struttura cristallina. Nelle leghe di stagno analizzate non è stata rilevata a temperatura ambiente la trasformazione cristallina che conduce al cosiddetto *cancro dello stagno*, e gli unici picchi di emissione ed ad-sorbimento di calore che sono stati individuati sono quelli relativi alla transizione solido-liquido. Quindi, la temperatura non sembra essere l'aspetto scatenante del fenomeno di degrado.
L'indagine della microstruttura del metallo è stata condotta attraverso microscopio ottico [Figura 4] ed elettronico a scansione (SEM – Scanning Electron Microscopy) [Figura 5] equipaggiato con microsonda EDS (Energy Dispersion Spectroscopy), che ha consentito la determinazione quantitativa della composizione chimica della lega metallica nonché quella delle zone andate soggette a degrado.
L'analisi chimica quantitativa ha messo in evidenza la presenza nelle leghe di stagno di altri elementi chimici tra i quali si evidenziano principalmente il piombo, l'arsenico, il bismuto, l'antimonio, il calcio,

2.
Esempi di parti di canne d'organo del XVIII sec. asportate a seguito del degrado
Examples of organ pipe parts from the 18th century removed as a result of deterioration

to 100 mg of the material researched inside an oven equipped with heat sensors able to detect the emission and absorption of heat by the metal alloy during a heat cycle. It is based on the fact that heat is emitted or absorbed parallel to changes in the physical state of the materials (change from liquid to solid and vice versa) or their crystalline structure. In the tin alloys analysed the crystal transformation which leads to the so-called *tin disease* was not detected at ambient temperature and the only peaks of heat emission and absorption identified were those relating to the change from solid to liquid. Therefore temperature does not appear to be the trigger in deterioration.
Research into the microstructure of the metal was carried out using an optical microscope [Figure 4] and scanning electron microscope (SEM) [Figure 5] equipped with an EDS (energy dispersion spectroscopy) microprobe which allowed a quantitative calculation of the chemical composition of the metal alloy and that of the decayed areas. The quantitative chemical analysis highlighted the presence in the tin alloys of other chemical elements including, above all, lead, arsenic, bismuth, antimonium, calcium, copper, iron

3.
Esempio di tracciato dell'analisi calorimetrica svolta sulle leghe di Sn analizzate. I picchi rappresentano l'emissione e la cessione di calore in corrispondenza delle temperature a cui avviene la transizione

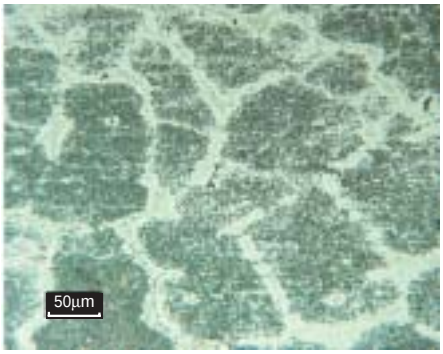
Example of the trace of the calorimetric analysis of the Sn alloys studied. The peaks represent the emission and transfer of heat at temperatures at which the transition occurs



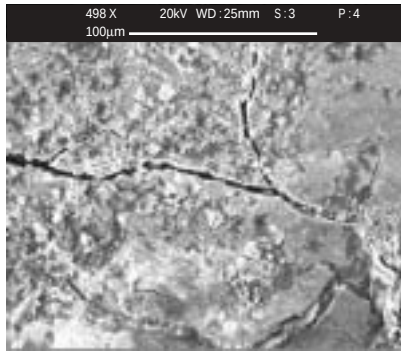
il rame, il ferro ed il cloro. La presenza di bismuto, antimonio, piombo ed arsenico è in grado di inibire, a temperatura ambiente, l'insorgenza del *cancro dello stagno* e questo spiega la ragione per cui la transizione cristallina non sia stata rilevata nelle indagini calorimetriche.
L'esame delle regioni andate soggette a degrado ha posto in evidenza come esse siano interessate da un forte decremento nella concentrazione di piombo (tanto da portare in alcuni casi alla sua scomparsa), dalla completa scomparsa di arsenico, nonché dalla persistente presenza di cloro e di carbonio nelle

and chlorine. The bismuth, antimonium, lead and arsenic are capable of inhibiting the onset of *tin disease* at ambient temperature which explains why the crystal transition was not detected during the calorimetry tests.
Examination of deteriorated areas showed how they are affected by a strong decrease in the concentration of lead (to the extent that it disappears in some cases), by the total disappearance of the arsenic and the enduring presence of chlorine and carbon in the damaged areas, although these elements were not included, except in negligible

4.
Grani di una lega a base stagno evidenziati al microscopio ottico dopo un attacco in soluzione 2%HNO_3-98% etanolo
Grains of a tin-based alloy shown under an optical microscope after attack in a 2%HNO_3-98%ethanol solution



5.
Esempio di zona soggetta a degrado osservata con il microscopio elettronico a scansione. Si evidenziano cricche e formazione di residui pulverulenti sulla superficie
Example of an area with deterioration, observed under the scanning electronic microscope. Cracks and the formation of powder residues on the surface can be seen



regioni danneggiate, benché tali elementi non fossero presenti, se non in quantità irrisoria, nella composizione chimica della lega.
Dopo aver operato tali prove sperimentali è stato necessario interpretare i risultati attraverso un loro confronto che permetta di cogliere gli aspetti fondamentali del processo di danneggiamento, al fine di capire se esso sia irreversibile, e quali siano i provvedimenti di prevenzione da adottare.
L'insieme dei dati raccolti vede nel cloro il principale imputato del processo dell'innesco del fenomeno di danneggiamento. Infatti, tale elemento chimico si presenta su tutte le regioni degradate.

La sua presenza è in grado di spiegare la completa scomparsa dell'arsenico che può formare il tri-cloruro di arsenico che a temperatura ambiente è allo stato gassoso. Parimenti, il cloro può interagire e combinarsi anche con il bismuto, l'antimonio ed il piombo, che in questo modo vengono rimossi dalla lega metallica. La rimozione degli elementi che inibiscono la trasformazione dello stagno può portare quest'ultimo a subire il processo di trasformazione cristallina che ne altera irrimediabilmente l'integrità strutturale. Quindi, il *cancro dello stagno*

amounts, in the chemical composition of the alloy. At the end of these experimental tests the results had to be interpreted through their comparison to comprehend the basic aspects of the process of damage, whether this is irreversible and which preventive measures have to be adopted. All the data collected indicate chlorine as the main factor responsible for triggering damage. Effectively this chemical element is found in all the deteriorated areas and its presence can explain the complete disappearance of the arsenic which may form arsenic trichloride, which at ambient temperature is in the gaseous state. Likewise the chlorine can interact and combine also with the bismuth, antimonium and lead, which in this way are removed from the metal alloy. Removal of the elements which prevent transformation of the tin can cause the latter to undergo the crystalline transformation which irreparably alters its structural features. Therefore the *tin disease* is not the trigger but instead a consequence. Finally it should be noted that these processes are fostered by a high degree of humidity which can, in the presence of carbon dioxide, also lead to the formation of carbonates.
First of all it was established that this is an irrever-

non risulta essere il fenomeno scatenante ma una conseguenza. Infine, va osservato che tali processi risultano favoriti dalla presenza di un alto tasso di umidità che può portare, in presenza di anidride carbonica, anche alla formazione di carbonati. Anzitutto, si è stabilito che si tratta di un processo irreversibile a cui è possibile porre rimedio solo con la rimozione e la sostituzione delle parti alterate. Quindi il meccanismo di degrado va prevenuto mediante il mantenimento di atmosfere con tasso di umidità controllato e con una scarsa presenza di cloro, i cui composti possono generarsi principalmente dal degrado dei componenti lignei con cui le canne metalliche sono in contatto. È indicativo che anche nei secoli passati in ambiente marino vi fosse una maggiore presenza di canne in legno rispetto a canne in lega metallica che potevano risentire di una maggiore presenza di cloruri nell'atmosfera. Sicuramente, il lavoro svolto non esaurisce la tipologia dei fenomeni di degrado a cui possono andare soggette le canne d'organo, ma ha consentito di mettere a punto una metodologia di indagine che può essere estesa ad altre situazioni e ha permesso di individuare uno dei fattori principali che devono essere contrastati per prevenire il degrado delle canne d'organo a base di stagno.

sible process which can only be remedied by removing and replacing the affected parts. The mechanism of deterioration should then be prevented by maintaining atmospheres with a controlled humidity rate and low quantity of chlorine, whose compounds can be generated mainly by the deterioration of the wooden parts with which the metal pipes come into contact. It is symptomatic that also in past centuries in coastal areas there were more wood than metal alloy pipes which could be affected by a higher quantity of chlorides in the atmosphere. The work carried out does not obviously cover all the types of deterioration which organ pipes may suffer, but it has enabled a focus on the research method which can be extended to other situations and has identified one of the main factors which have to be combated to prevent deterioration of organ pipes with a tin base.

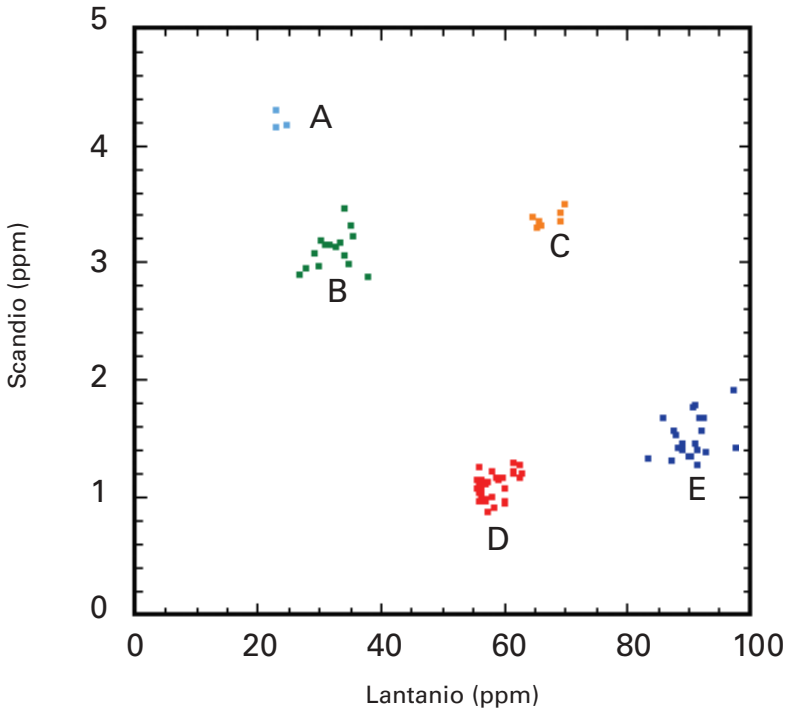
Alessandra Cesana
Mario Terrani

Applicazioni dell'Analisi per Attivazione Neutronica in Archeologia

Archaeological Application of Neutron Activation Analysis

L'utilità di associare la composizione chimica di un manufatto alle altre informazioni ottenibili con le tecniche proprie dell'archeologia è stata riconosciuta nel mondo anglosassone più di due secoli orsono con l'obiettivo di ottenere informazioni su antiche tecniche di lavorazione. Molto utili si sono rivelate le informazioni riguardanti i materiali usati per la colorazione dei vetri, i rivestimenti di oggetti ceramici e la struttura di antiche leghe metalliche.
Inoltre la composizione chimica, essendo almeno in parte peculiare dei luoghi di origine delle materie prime utilizzate, può indicare la provenienza di un manufatto, le fonti di approvvigionamento delle materie prime, la locazione delle officine e aiutare nella ricostruzione delle vie commerciali. Le informazioni analitiche sono particolarmente utili in un contesto preistorico, in assenza di documenti o valutazioni stilistiche e per materiali poco o punto manipolati quali ad esempio le ossidiane.
Nelle prime applicazioni le analisi, limitate ai macrocostituenti, erano effettuate esclusivamente per via chimica gravimetrica.
Questa tecnica è distruttiva e richiede quantità relativamente elevate di materiale; essa quindi non può assolutamente essere applicata a manufatti di pregio rilevante.
Successivamente tutte le tecniche analitiche, mano a mano che si rendevano disponibili, sono state utilizzate a supporto dell'archeologia.
Nel seguito descriveremo brevemente una partico-

The importance of the chemical composition of an artifact as a complement of the traditional Archaeological informations was recognized since 200 years by English researchers. This practice yielded valuable informations about materials used for glasses, for the realization of particular surface glossy films, or the composition of metal alloys.
The chemical composition is to a certain extent peculiar of the regions where raw materials were obtained, hence it can give informations about provenance, workshops locations and can be an important aid for trade routes reconstruction.
Analytical informations are particularly useful for those artifacts for which historical or stilistic informations are scanty or not available at all such as happens for low grade pottery or obsidians.
In the early applications only ordinary chemical techniques were used. These are destructive and require considerable amounts of material, hence cannot be applied to particularly valuable objects.
Successively all the available analytical techniques have been applied to these problems, we will consider only the nuclear technique known as Neutron Activation Analysis (NAA).
The stable isotopes of the elements in a sample following neutron capture can be transformed in radioactive isotopes which in several cases emit gamma radiation. The measurement of the energy and of the intensity of these radiations allows the identification of the elements in the sample and the measurement of their concentration.
This technique is particularly accurate and sensitive, and is well suited for the measurement of several among the minor constituents of a sample, at the part per millior or part per billion level, which are in general best related to the sample povenance or particular handling.
It can be considered non destructive in the sense



1.
Correlazione tra le concentrazioni di scandio e lantanio in ossidiane rinvenute in insediamenti neolitici italiani. I gruppi sono riconducibili alle seguenti zone di provenienza: A,B,C Sardegna (Monte Arci), D Lipari, E Palmarola. [1, 2]
Correlation between scandium and lanthanum concentrations in obsidian samples from neolithic sites in Italy. A,B,C Sardinia, D Lipari, E Palmarola. [1, 2]

lare tecnica nucleare nota come Analisi per Attivazione Neutronica.
Gli isotopi stabili degli elementi contenuti in un campione, in seguito a reazioni nucleari indotte da neutroni, possono trasformarsi in isotopi radioattivi. Nel successivo decadimento in molti casi vengono emesse radiazioni gamma le cui energie sono caratteristiche degli emettitori a loro volta legati, sia qualitativamente che quantitativamente, agli elementi di partenza.
La determinazione dell'energia e dell'intensità delle radiazioni emesse permette di identificare gli ele-

that only very small amounts of material, fiew milligrams, are required and in some cases can be applied to the whole object, hence the alterations induced in the sample can be insignificant or null at all.
NAA has been extensively applied to archaeological problems. An idea of the potential usefulness of the method for what concern provenance studies can be derived from Figure 1 [1], [2] which displays the correlation between lanthanum and scandium in obsidian samples caming from some neolithic sites in Italy.

menti presenti nel campione e di misurare la loro concentrazione. Naturalmente la produzione di isotopi radioattivi può essere ottenuta con reazioni nucleari indotte da altri tipi di particelle (ad esempio protoni) e in linea di principio è possibile sfruttare per la misura l'emissione di altri tipi di radiazioni, ma l'irraggiamento con neutroni combinato al conteggio della radiazione gamma rendono la tecnica particolarmente sensibile e accurata.
Le quantità richieste per l'analisi sono particolarmente modeste, nell'ordine della decina di milligrammi ed è possibile la misura della concentrazione di elementi presenti in tracce (a livello delle parti per milione e in casi favorevoli delle parti per miliardo) che spesso sono particolarmente utili per caratterizzare un dato reperto archeologico.
Essa è *non distruttiva* nel senso che non solo il campione usato per l'analisi è sempre disponibile per eventuali ulteriori verifiche, ma che può essere applicata in particolari casi e con particolari accorgimenti ad oggetti di notevole valore storico o artistico senza indurre alterazioni di sorta. Le applicazioni dell'Analisi per Attivazione Neutronica in campo archeologico sono documentate da migliaia di pubblicazioni. Un esempio della potenzialità del metodo per quanto riguarda gli studi di provenienza è illustrato dalla Figura 1 dove sono mostrati i risultati di alcune misure effettuate presso il Dipartimento di Ingegneria Nucleare su oggetti di ossidiana rinvenuti in alcuni siti neolitici italiani [1] [2]. In questo caso è evidente che, attraverso la correlazione tra le concentrazioni dei microcostituenti lantanio e scandio, è possibile individuare senza ambiguità l'origine dei manufatti in esame.
La separazione non è sempre così netta, però in molti casi questa tecnica analitica ha dato un valido contributo alla caratterizzazione di reperti archeologici. A volte importanti risultati sono stati ottenuti associandola ad altre tecniche. È il caso delle antiche leghe metalliche, in particolare le monete, nelle

The clustering of the samples according to the provenance sites is not always as evident as in this case, however often trace element concentrations gave a sound contrinbution to the characterization of artifacs produced in a particular geographic area. Some drawbacks must be considered. Active samples can be handled only in particular laboratories and irradiation, transport and counting of the samples make the cost of the analyses relatively high. Anyway the main problem is the progressive disappearence of intense neutron sources.
The use of nuclear transformations as powerful analytic tools would have remained a laboratory curiosity without the development of nuclear reactors or of powerful particle accelerators which at present days are disappearing in Italy. Within a fiew years a full exploitation of this technique will be possible only in foreign countries.

quali è comune che la composizione superficiale per varie ragioni differisca da quella del corpo. Alcune tecniche quali la Microscopia Elettronica e l'Analisi per Fluorescenza indotta da vari tipi di particelle possono fornire informazioni sensibilissime e accurate sulla struttura e la composizione di una lega, limitatamente però ad un sottilissimo strato superficiale dell'oggetto in esame.
L'Analisi per Attivazione Neutronica con conteggio gamma è probabilmente la migliore tecnica non distruttiva che permette di valutare la composizione media dell'intero oggetto.
Come sempre accade, i vantaggi del metodo sono accompagnati da alcuni difetti: le misure possono essere fatte solo in centri specializzati, richiedono attrezzature particolarmente costose e operatori qualificati. Il principale problema è però la penuria di sorgenti di neutroni adatte. Un pieno sfruttamento delle potenzialità del metodo richiede sorgenti di neutroni particolarmente intense, perché la sensibilità è direttamente legata all'intensità del campo neutronico. La possibilità di sfruttare le trasformazioni nucleari come potente mezzo analitico è stata proposta prima del 1940, ma sarebbe rimasta una curiosità senza lo sviluppo postbellico degli acceleratori di particelle e dei reattori nucleari di ricerca che oggi in Italia vanno scomparendo.
Modeste sorgenti di neutroni sono tuttora disponibili, ma la loro bassa intensità limita drasticamente, contrariamente a quanto accade all'estero, il campo di applicazione di questa tecnica analitica.

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

[1]
A.J. Ammerman, A. Cesana, C. Polglase, M. Terrani
Neutron activation analysis of obsidian from two neolithic sites in Italy
Journal of Archaeological Science, 17 (1990)209-220

[2]
A. J. Ammerman, C. R. Polglase, A. Cesana, M. Terrani
Analyses and descriptions of the obsidian collections from Arene Candide
Estratto da: Arene Candide: A Functional and environmental assesment of the helocene sequence. Edited by Roberto Maggi il Calamo Roma 1997,576-592

Rinaldo Cubeddu
Daniela Comelli
Gianluca Valentini
Lucia Toniolo
Chiara Colombo
Antonio Sansonetti

La fluorescenza per immagini risolta in tempo per l'analisi di Beni Culturali

Fluorescence Lifetime Imaging for the analysis of works of art

Le indagini diagnostiche per la conoscenza dei manufatti di interesse storico-artistico e per la definizione dello stato di conservazione costituiscono un momento fondamentale nella redazione di un progetto conservativo. Negli ultimi anni la diagnosi si è spostata sempre più a favore delle tecniche non invasive, la cui applicazione in situ permette di ridurre grandemente il numero di micro-campioni prelevati dal manufatto e sottoposti ad analisi chimica. Tale aspetto è di grande valore, in particolar modo per quelle opere di grande pregio artistico per le quali l'azione di campionamento risulta difficilmente praticabile. Tra le tecniche non invasive, un ruolo primario è tradizionalmente occupato dalla fluorescenza indotta mediante radiazione ultravioletta (UV). Infatti, se si eccita con radiazione UV una sostanza organica, essa emette una luce di fluorescenza nella regione visibile dello spettro elettromagnetico. Grazie a questa emissione è possibile visualizzare e talvolta identificare sostanze che risultano non riconoscibili in luce bianca.
I parametri che caratterizzano l'emissione fluorescente sono la lunghezza d'onda, l'intensità ed il tempo di decadimento. In anni recenti, presso i laboratori del Dipartimento di Fisica del Politecnico di Milano, è stata sviluppata una strumentazione portatile per misurare il tempo di decadimento della fluorescenza in aree estese di un campione. Tale parametro è una caratteristica delle sostanze fluorescenti e può essere messo in relazione

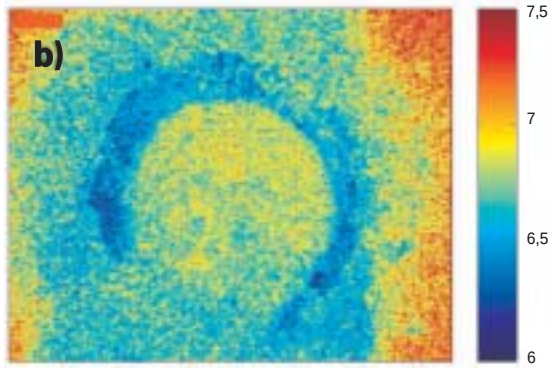
To plan a conservation intervention on a work of art, it is necessary to perform a careful diagnosis about the state of conservation of the artefact.
To this purpose, in recent years, a great effort has been devoted to transform laboratory techniques in portable equipment for non-invasive measurements. These measurements can be easily carried out in-situ and allow one to reduce the number of micro-samples to be taken from the artefact for chemical analysis. This is especially valuable for those artworks of great value that can be hardly sampled.
Amongst non-invasive investigation techniques, UV induced fluorescence is well appreciated amongst restorers since long ago. In fact, after excitation with UV light, most organic compounds emit a well-defined fluorescence light in the visible part of the electromagnetic spectrum. On the basis of the fluorescence emission it is possible to localize and sometimes to identify substances otherwise not visible.
The parameters that characterize the fluorescence emission are the spectral shape, the intensity and the decay time. In the last years, researchers in the laboratories of the Physics Department at Politecnico di Milano developed a portable instrumentation to measure the fluorescence decay time in an extended area of a sample. This parameter is characteristic of the emitting substances and can be correlated with the materials present in the inspected area. The measurement technique, which is internationally known as Fluorescence Lifetime Imaging (FLIM) allows one to measure the spatial map of the decay time in an area typically 20-30 cm wide. The experimental apparatus is made of a) a Nitrogen laser emitting short ($\Delta t < 1$ns) pulses of UV ($\lambda = 337$ nm) radiation; b) an intensified camera that can be gated for acquisition times of few nanoseconds; c) an electronic control unit to set the proper gate and delay; d) a computer to collect and to process the images.
The FLIM device is complemented by an Optical Spectrum Analyser (OMA) to measure the fluorescence emission spectrum in a point like area of the sample, 2 mm wide. This device is made by a Nitrogen laser source and by a fibre optic probe that delivers the excitation light and collects the fluorescence emission from the surface to be examined. The fluorescence spectrum provides further information, beside intensity and decay time, to discriminate amongst different chemical environments.

ai componenti principali presenti nell'area esaminata. La tecnica di misura, nota in campo internazionale con l'acronimo FLIM (Fluorescence Lifetime Imaging), permette di determinare la mappa spaziale del tempo di decadimento e dell'ampiezza relativa della fluorescenza in una regione superficiale del diametro di 20-30 cm.
L'apparato sperimentale si compone di:
a) una sorgente laser che emette brevi impulsi ($\Delta t < 1$ ns) di radiazione ultravioletta ($\lambda = 337$ nm); b) una telecamera ad elevata sensibilità che può essere attivata per intervalli di tempo molto brevi (alcuni nanosecondi); c) una unità di controllo elettronico; d) un computer per la raccolta e l'elaborazione delle immagini.
La tecnica FLIM ha come valido complemento uno strumento per la misura dello spettro di fluorescenza in un'area del diametro di circa 2 mm. Questo strumento si avvale anch'esso di una sorgente laser di luce ultravioletta, trasportata mediante fibra ottica ad una sonda in grado di raccogliere il segnale di fluorescenza e trasmetterlo ad un analizzatore ottico multicanale (OMA). La sonda può essere portata dall'operatore a contatto con la superficie da esaminare e permette di misurare lo spettro di fluorescenza del punto desiderato. Lo spettro di fluorescenza, unito all'intensità ed al tempo di decadimento, fornisce un ulteriore parametro per discriminare aree superficiali differenti. Recentemente, queste tecnologie sono state applicate alla diagnosi dello stato di conservazione di superfici di interesse storico-artistico.
L'unione delle tecniche FLIM/OMA consente di ottenere una *fotografia materica* della superficie in esame. Infatti, abbinando all'esame di fluorescenza l'analisi di laboratorio di micro-campioni opportunamente prelevati, è possibile ricostruire la distribuzione di composti di interesse sulla superficie in esame, attribuibili sia alle tecniche esecutive che ad interventi di restauro. In particolare, questo tipo di indagine si propone come uno strumento efficace e preciso per il riconoscimento e la localizzazione di sostanze di natura organica presenti sulle superfici di interesse storico-artistico, quali sostanze naturali usate tradizionalmente come leganti in pittura o in interventi di conservazione (olii, cere, grassi animali o vegetali, polisaccaridi o carboidrati derivati da gomme vegetali, proteine derivate da latte e uova, ecc.) o sostanze dovute all'inquinamento atmosferico, quali gli idrocarburi e i cosiddetti VOC (volatile organic compounds).

The combination of the techniques FLIM/OMA allows one to take a snapshot of the materials that lay down on the surface under investigation.
In fact, the fluorescence investigation can be complemented with the chemical analysis of microsamples taken from the surface, thus leading to the maps of some organic compounds laying on the artefact due both to the action of the artist or to restoration activities.
More specifically, this technique is very effective to distinguish and localize organic compounds present on the surfaces of works of art, like natural substances traditionally used as binders in paintings or conservation treatments (oils, waxes, animal or vegetal fats, polysaccharides or carbohydrates deriving from natural gum, proteins from milk or egg) or substances deriving from environmental pollution, like hydrocarbons or VOC (volatile organic compounds). The application of the devices described in this paper represent a new methodology, which has been recently patented [1].
In the last two years, the FLIM/OMA technique has been applied to investigate the conservation status of several artworks of great artistic and historical importance.
More specifically, measurements have been performed on the fresco paintings by Masolino da Panicale in the Collegiata church in Castglione Olona, on the fresco paintings by Filippo Lippi in Duomo di Prato and on the marble surface of the very famous David statue by Michelangelo in Florence, while the investigation of the Pietà Rondanini statue by Michelangelo in Milano is still in progress.
The analysis of the fresco paintings by Masolino da Panicale has been made to support a restoration activity very complex due to the poor conditions of the painted surface. By means of the fluorescence measurements, we could reveal several materials superimposed to the fresco surface, mainly stucco joints and glue residues, with many areas of the surface permeated by poly-vinyl acetate.
Such alterations are mainly ascribed to the restoration carried out in the '70. Moreover, the FLIM analysis allowed us to understand the technique used by Masolino to make the gilded relieves that decorate the frescos. Particular attention has been devoted to study the halos that surround the faces of several holy characters in the paintings, representing the Histories of the Virgin. As an example, Figure 1 shows a photograph (a) of the face of the

1a.
Riproduzione fotografica (a) del volto del Bambin Gesù sul ciclo di affreschi raffiguranti le Storie della Vergine nella chiesa della Collegiata Castiglione Olona (VA)
Photograph (a) of the face of Infant Jesus (Bambin Gesù) from the frescos describing the Stories of Virgin Mary in the Church of Collegiata at Castiglione Olona (Va)

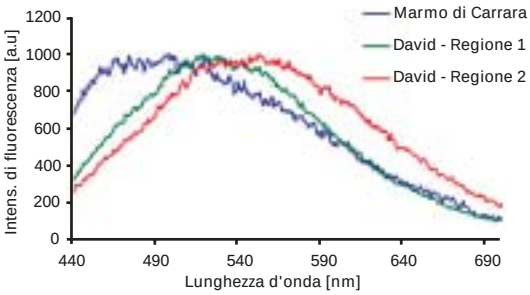
1b.
Mappa del tempo di decadimento della fluorescenza (b); si noti l'eterogeneità dell'aureola
Fluorescence lifetime image (b). Note the heterogeneity of the aureola



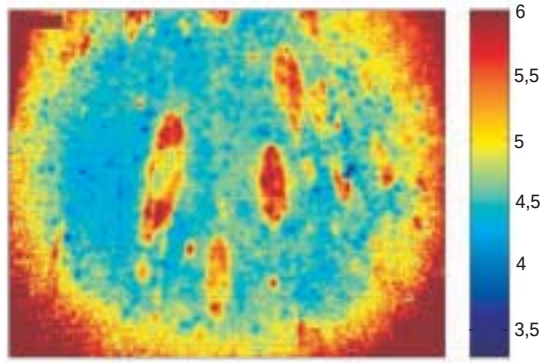
La specifica applicazione della strumentazione descritta per la diagnosi nel settore dei Beni Culturali costituisce una metodologia innovativa come è testimoniato da un recente brevetto [1]. Negli ultimi due anni sono state condotte alcune importanti esperienze di applicazione della metodica su pitture murali e sculture di elevato valore storico-artistico. In particolare, sono state effettuate misure sul ciclo di affreschi di Masolino da Panicale nella chiesa della Collegiata di Castiglione Olona, sugli affreschi di Filippo Lippi nel Duomo di Prato e sulla superficie marmorea del David di Michelangelo, mentre un'indagine sulla Pietà Rondanini di Michelangelo è tuttora in corso.
Le analisi sul ciclo pittorico di Masolino da Panicale sono state effettuate a supporto di un intervento di restauro assai impegnativo a causa del precario stato di conservazione in cui versa la superficie. Tramite l'analisi in fluorescenza è stato possibile evidenziare sulla superficie affrescata estese sovrammissioni, costituite prevalentemente da stuccature e residui di colla, con ampie aree di intonaco permeate da composti vinilici. Tali alterazioni sono per lo più conseguenza del restauro effettuato negli anni '70. L'analisi FLIM ha permesso inoltre

Holy Child Jesus and the corresponding fluorescence decay time map (b). The heterogeneity of the fluorescence decay time in the halo has been ascribed to the existence of two metallic layers attached to the painted surface by means of two organic glues, whose emissions are detected by the FLIM device. A similar structure has been found in all the halos present in the fresco paintings.
The investigation of Michelangelo's Davis has been carried out on behalf of a throughout diagnostic campaign that involved many Universities and Research Centres in Italy, to support the restoration scheduled for the 500 years anniversary of the masterpiece (2004). Forty-five FLIM maps have been collected all over the statue. The investigated areas were selected on the basis of their location, which influences the exposure to atmospheric events, and with the support of a careful visual inspection carried out under visible and UV light (Wood lamp).
It is worth noting that the surface of the statue is characterised by an unexpectedly bright fluorescence emission, much higher than the one emitted by a brand new sample of Carrara marble, which has been considered as a reference. Moreover, as it

2.
Spettri di fluorescenza di un campione da cava di marmo di Carrara e di due regioni del David di Michelangelo rappresentative dei contaminanti presenti sulla sua superficie
Fluorescence spectra taken on a sample from a marble quarry of Carrara and on two regions representative of the contaminants present on Michelangelo's David surface



3.
Mappa del tempo di decadimento della fluorescenza di una regione dell'avambraccio destro del David nella quale sono evidenti delle gocce di cera che si manifestano grazie alla durata perticolarmente lunga della fluorescenza
Fluorescence lifetime map of a region on the right forearm of David. Wax drops are clearly visible due to the noticeable long

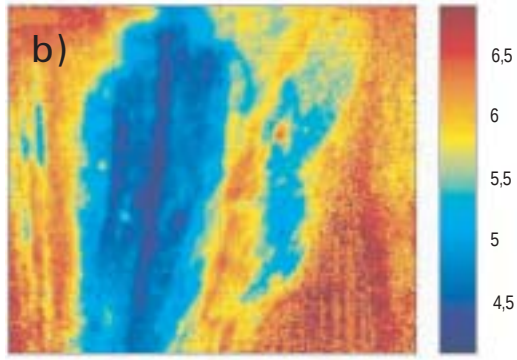


di comprendere la tecnica utilizzata da Masolino per realizzare le decorazioni a rilievo che impreziosiscono l'affresco. Particolare attenzione è stata dedicata allo studio delle aureole che circondano il volto di vari personaggi sacri del ciclo pittorico, che rappresenta le Storie della Vergine.
A titolo di esempio la Figura 1 mostra la fotografia del volto del Bambin Gesù (a) e la corrispondente mappa del tempo di decadimento della fluorescenza (b). L'eterogeneità del tempo di decadimento nella regione dell'aureola è stata attribuita all'esistenza di due fasi realizzative, costituite da due lamine metalliche collocate sulla superficie pittorica mediante due adesivi di composizione organica (missioni). Una simile struttura di fluorescenza è stata riscontrata in tutte le aureole presenti nel ciclo pittorico.
L'analisi del David di Michelangelo è stata effettuata nell'ambito di una campagna diagnostica che ha coinvolto numerosi Centri di Ricerca e Dipartimenti Universitari in occasione dell'intervento di restauro programmato per il cinquecentenario dell'opera (2004). Sono state registrate 45 immagini FLIM di varie aree della statua selezionate sia in base alla loro collocazione e orientazione, sia in base

is shown in Figure 2, the fluorescence spectrum of the Carrara sample has the peak at 480 mn, different from the emission peak of all David spectra. Such considerations strongly suggest that David marble is deeply covered and permeated by contaminants. The FLIM investigation supported by chemical analysis carried out on micro-samples gave valuable insights on surface deposits.
Figure 3 shows the decay time map of a portion of the right forearm. The circular spots clearly visible in the map are characterised by a long decay time (6 ns) and by an emission peak at 520 nm. Similar spots are present also in other regions of the statue. By means of the analysis of a micro-sample, it was possible to ascertain that they are made of wax (possibly bee wax). It is worth noting that between 1808 and 1815, a conservative treatment made of hot wax was applied to David. After about 200 years, not withstanding several cleanings, wax is still widely present on the statue, as it has been evidenced by the FLIM measurements.
As a second example, some brown deposits with a vertical pattern are visible on the rear part of the left tight [Figure 4a]. Regions with a similar pattern of contaminants are also present on other

4a.
Riproduzione fotografica (a) di un particolare della coscia sinistra del David sulla quale sono visibili depositi di colore bruno
Photograph (a) of a detail on David's left thigh. Brown deposits are clearly visible

4b.
Mappa del tempo di decadimento della fluorescenza (b) che mostra una durata breve della fluorescenza in corrispondenza dei depositi inorganici
Fluorescence lifetime map (b). A short fluorescence lifetime is observable in the correspondence of inorganic deposits



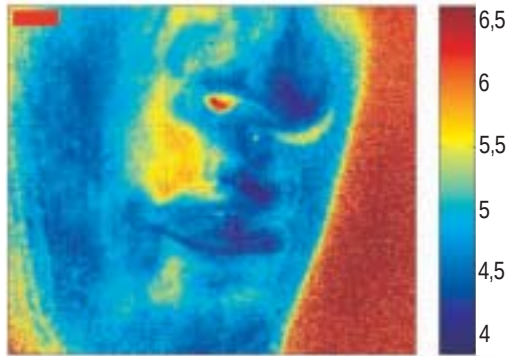
all'esame visivo in luce bianca e alla lampada di Wood (UV). In primo luogo è opportuno osservare che la superficie della scultura è caratterizzata da una elevata intensità di fluorescenza, nettamente superiore a quella emessa da una superficie di riferimento in marmo di Carrara da cava analizzata in laboratorio. Inoltre, come mostrato in Figura 2, lo spettro della fluorescenza del campione di marmo di Carrara mostra un picco di emissione a 480 nm, non riscontrabile in alcuno degli spettri del David. Tali considerazioni hanno permesso di stabilire che l'intera superficie è interessata da una complessa presenza di sovrammissioni e contaminanti.
Sulla natura delle sovrammissioni, la tecnica FLIM, unita alle indagini di laboratorio su micro-prelievi, ha fornito indicazioni significative.
La Figura 3 mostra la mappa del tempo di decadimemento di una porzione dell'avambraccio destro dove sono state evidenziate delle macchie oblunghe, probabilmente gocciolature, caratterizzate da un tempo di decadimento della fluorescenza particolarmente lungo (circa 6 ns) e da uno spettro con picco a 520 nm. Residui con un simile comportamento in fluorescenza sono stati riscontrati in forma di colature anche in altre regioni della statua

parts of the statue. These deposits are very likely a consequence of the exposition to meteorological events that lasted almost four centuries while David was in Piazza della Signoria, before the statue was housed in Galleria dell'Accademia in 1873. The FLIM maps of these regions [Figure 4b] show a relatively short decay time (4.5 ns) as a consequence of the fluorescence quenching caused by inorganic salts, mostly oxalate. Other residues, very likely of organic nature, were found on David.
In particular, on the face [Figure 5] we detected wax deposits (under the right nostril) and a deposit of a substance not yet identified (above the lips), which shows fluorescence properties well distinguished from those of the wax.
Beside the detection of contaminants, the FLIM technique was also applied to evaluate the cleaning effectiveness of different procedures tested in patches selected for the strong presence of wax or inorganic salts.
The FLIM/OMA methodology for the analysis of the surface of artworks is still under development. For what concerns the experimental apparatus, a suitable engineering of the devices would allow a wider class of operators, including restores, to

e sono stati identificati come depositi di cera (probabilmente cera d'api) grazie all'analisi di microcampioni. Si deve ricordare a questo proposito che tra il 1808 e il 1815 sul David fu effettuato un trattamento conservativo con cera stesa ad encausto. Dopo circa duecento anni e nonostante i successivi interventi di pulitura anche piuttosto invasivi, la cera è ancora largamente presente sulla statua, come testimoniato dalle mappe di fluorescenza misurate in parecchie regioni. Sul retro della coscia sinistra sono ben visibili alcuni depositi di colore ocra con andamento verticale [Figura 4a] probabilmente derivanti dall'esposizione al dilavamento atmosferico. Aree che presentano questa tipologia di depositi sono abbastanza ricorrenti sulla statua, come conseguenza di quasi quattro secoli di esposizione alle intemperie in Piazza della Signoria, prima del ricovero della statua presso la Galleria dell'Accademia, avvenuto nel 1873. Le mappe FLIM di queste regioni [Figura 4b] mostrano una fluorescenza con tempo di decadimento breve (4.5 ns) per la presenza di sali inorganici, in prevalenza ossalati, che smorzano l'emissione di fluorescenza, riducendone la durata.
Altri residui, probabilmente di natura organica, sono stati localizzati in varie regioni della statua; in perticolare sul volto [Figura 5] sono stati riscontrati depositi di cera (sotto la narice destra) e di un'altra sostanza non ancora identificata (sopra il labbro), con proprietà di fluorescenza che si differenziano da quelle della cera sia in tempo di decadimento che in spettro. Oltre all'indagine conoscitiva, la tecnica FLIM è stata utilizzata anche per valutare l'efficacia di differenti metodi di pulitura applicati in tasselli di prova, selezionati per la presenza di cera e di depositi inorganici. L'applicazione delle tecniche di fluorescenza FLIM e OMA all'analisi di superfici di interesse storico-artistico è ancora in fase sperimentale. Dal punto di vista strumentale è necessario prevedere un intervento di ingegnerizzazione e sviluppo dell'apparecchiatura per rendere possibile l'utilizzo della tecnica ad una gamma di operatori più ampia. Dal punto di vista diagnostico è necessario sviluppare le capacità interpretative delle immagini FLIM relative a superfici di interesse storico-artistico. Questi obiettivi di ricerca applicata vengono promossi congiuntamente da ricercatori del Politecnico e del CNR, attraverso la partecipazione a progetti di ricerca nazionali e internazionali e mediante indagini diagnostiche su manufatti di pregio.

5.
Mappa del tempo di decadimento della fluorescenza di una porzione del volto del David. Si notano due diversi tipi di sovvrammissioni organiche, entrambe con durata della fluorescenza superiore alla media. La sovrammissione sotto la natica è stata identificata come cera, grazie alle proprietà della fluorescenza. Il deposito sopra il labbro è tuttota di natura sconosciuta

Fluorescence lifetime map of a part of David's face. Two different type of organic deposits are observable, both having a fluorescence lifetime longer than the average. Due to its long fluorescence lifetime, the deposit under the nostril has been identified as wax. The nature of the deposit on the lip is still unknown



apply this technique. From the diagnostic standpoint, it would be important to further enhance the interpretation capabilities of the FLIM technique on the basis of a wider experience achieved by laboratory and field measurements. These research goals are presently pursued by researchers at Politecnico di Milano and CNR, through the participation in national and international research projects and through further investigations on valuable works of arts.

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

[1]
R. Cubeddu, G. Valentini, P. Taroni, D. Comelli, L. Toniolo - Analisi di opere d'arte mediante l'utilizzo della spettroscopia di fluorescenza per immagini, Brevetto Italiano n. MI2002A001361 (2002); estensione europea in corso

Antonio Longoni
Carlo Fiorini
Chiara Guazzoni

Spettrometri XRF per analisi non distruttive nello studio e conservazione dei Beni Culturali

XRF Spectrometers for non-destructive analyses in Cultural Heritage study and conservation

Introduzione

Il Gruppo di ricerca sui *Rivelatori di Radiazione ed Elettronica Nucleare* del Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano si occupa dello sviluppo di strumentazione avanzata per lo studio dei materiali basata sull'analisi spettroscopica della fluorescenza X (XRF - X-Ray Fluorescence spectroscopy). Questa tecnica analitica, che consente di identificare gli elementi chimici presenti nel materiale, è non-distruttiva e si presta pertanto all'analisi di opere d'arte e materiali di interesse storico e archeologico. Viene utilizzato un nuovo tipo di rivelatore di radiazione, nato per applicazioni nel campo della Fisica delle particelle elementari e introdotto per la prima volta in strumenti per l'analisi dei Beni Culturali. Tale rivelatore, denominato SDD (Semiconductor Drift Detector) è stato ideato da Emilio Gatti (del Politecnico di Milano) e da P. Rehak (del Brookhaven National Laboratory, USA) nel 1983 [1]. Una pluriennale collaborazione internazionale comprendente il Politecnico di Milano, il Brookhaven National Laboratory e il Max Planck Institut di Monaco ha portato i SDD agli odierni elevati livelli di prestazioni e affidabilità. Le eccezionali prestazioni del SDD ne fanno il dispositivo ideale per la realizzazione di compatti strumenti di elevate prestazioni analitiche per analisi non-distruttive, svolte anche direttamente *sul campo* [2]. Nell'articolo, dopo una breve descrizio-

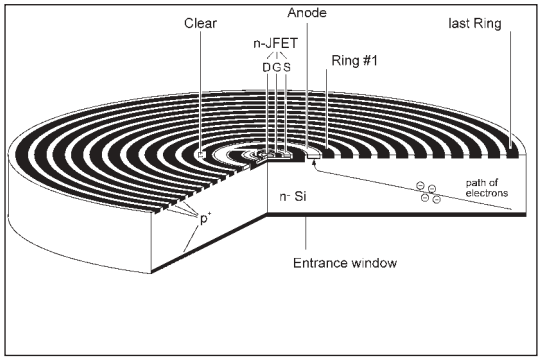
Introduction

The research group on Radiation Detectors and Nuclear Electronics of Dipartimento di Elettronica e Informazione - Politecnico di Milano is involved in the development of advanced instrumentation for material analysis by means of X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF).
analytical technique allows to identify the chemical elements composing the material under study in a non-destructive way. 8Therefore it is particularly suitable for the analysis of works of art and of material and manufacts of historical and archeological interest. For these analyses we use a novel radiation detector, originally developed for particle physics and used now for the first time in the instrumentation for the study of cultural heritage. The detector, called Semiconductor Drift Detector (SDD) was invented by E.Gatti (Politecnico di Milano) and P. Rehak (Brookhaven National Laboratory, USA) in 1983 [1]. Its high-level perfomances and reliability are the result of an international collaboration among Politecnico di Milano, Brookhaven National Laboratory (USA) and Max Planck Institut in Munich (Germany).
Thanks to its exceptional performances, the SDD is the ideal device for compact instrumentation suitable for on-field high-quality non-destructive analyses [2]. In this paper we present a short description of the developed instrumentation together with some of the results obtained in several measurements carried out on frescos, canvas, sculptures and jewels. At the end we describe an innovative spectrometer for elemental-mapping that we are developing [3]and that is particularly suited to analyse jewels, miniatures, and stratigraphical samples.

The portable spectrometer

Since the X-ray fluorescence lines emitted by an atom are univocally related to the emitting atom, the spectroscopical analysis of the X-rays emitted by a sample irradiated with a properly choosen X-ray source allows to identify the chemical elements forming the sample.
Moreover, in selected cases, it is possible to carry out also a quantitative analysis thus determining the mode of the sample.
The XRF spectrometer is composed by an X-ray source (in our case a miniaturized low-power X-ray generator), by an energy dispersive radiation detector (in our case a 5mm^2-active area SDD, made of 300µm-thick high resistivity Silicon) and by an

1.
Struttura del Rivelatore a Deriva a Semiconduttore utilizzato per analisi XRF.
Il transistore JFET, primo stadio dell'elettronica di amplificazione, è integrato all'interno dell'anodo di raccolta della carica
Structure of the semiconductor Drift Detector for XRF analyses. The front-end JFET transistor is integrated on the detector chip, within the ring-shaped charge-collecting anode



2.
Primo prototipo dello spettrometro XRF durante una misura su un telo funebre egizio presso i Musei Vaticani
First prototype of the XRF spectrometer during the analysis of an Egyptian Linen (Antinopolis, III century a.C.) at the Scientific Laboratories of the Vatican Museums

ne della strumentazione, si mostrano alcuni dei risultati ottenuti in numerose campagne di analisi su affreschi, dipinti su tela, sculture e gioielli. Si presenta infine un avanzatissimo spettrometro per *elemental mapping* (analisi della distribuzione spaziale degli elementi chimici) in fase di realizzazione presso il Gruppo di ricerca [3], di particolare interesse per l'analisi di gioielli, miniature, campioni stratigrafici.

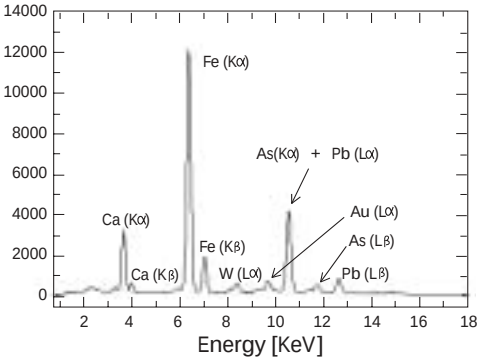
Lo spettrometro portatile

L'analisi spettroscopica della fluorescenza X emessa da un materiale eccitato da una opportuna sorgente di raggi X consente l'identificazione degli elementi chimici componenti il materiale stesso. I fotoni X di fluorescenza emessi da un atomo hanno infatti energie caratteristiche legate in maniera univoca all'atomo che li emette. È anche possibile, in opportune condizioni, determinare quantitativamente la composizione percentuale del materiale. Uno spettrometro XRF è composto essenzialmente da una sorgente di eccitazione X (nel nostro caso un tubo radiogeno X miniaturizzato di bassa potenza), da un rivelatore di radiazione capace di misurare l'energia dei raggi X (nel nostro caso un SDD in

electronic system for data acquisition and processing (in our case a portable multichannel analyzer connected to a notebook PC). While conventional detectors used for high-resolution XRF measurements (e.g. Lithium compensated Silicon detectors) operate at liquid nitrogen temperature (about 200 °C below zero), the SDD features excellent energy resolution near room temperature (few degrees below zero, easily obtained by a simple miniaturized thermoelectric cooler based on the Peltier effect). This feature allows to build compact spectrometers with high analytical performances, ideal for on-field measurements. Just for reference, the last generation SDDs (5mm^2 active area) feature an energy resolution of 135eV FWHM at the Mn Ka line at –10°C and with shaping times of the output signal in the microsecond range.
Figure 1 shows a schematic view of the SDD developed for XRF analysis. An external electrostatic field drifts the signal electrons generated by the incident radiation towards a small collecting anode located in the center of the detector. The field-effect transistor (JFET) integrated on-chip nearby the collecting anode acts as the first stage of the signal amplifying circuit. The low output capacitance and

3.
Spettro di fluorescenza X dell'orecchino della figura femminile rappresentata nel telo funebre. Nello spettro si notano i picchi caratteristici del Ferro [Ocra gialla, Fe(OH)3], Arsenico (Orpimento, As2S3) e Oro

XRF spectrum of the of the earring of the lady represented in the linen shown in figure 2, showing the characteristic lines of Iron (yellow ochre Fe(OH)3), of Arsenic (Orpiment As2S3) and of Gold (Au)



4.
Recente versione dello spettrometro XRF durante misure effettuate sulla Lupa Capitolina presso i Musei Capitolini in Roma

Recent version of the XRF spectrometer during the analysis of the 'Lupa Capitolina' at the Musei Capitolini in Rome

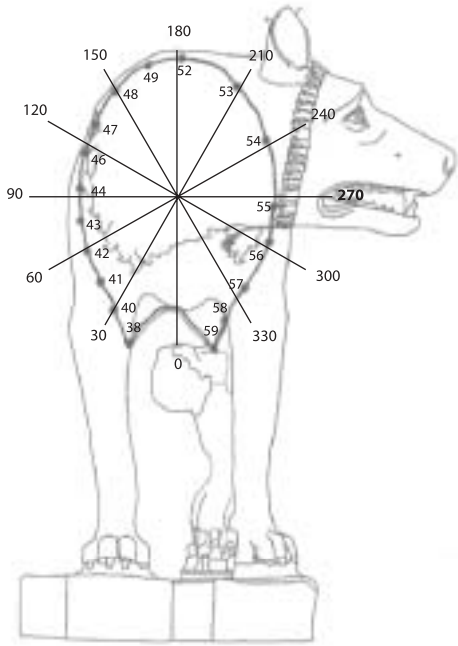
Silicio ad elevata resistività, di 5 mm^2 di area attiva e 300 µm di spessore) e da un sistema elettronico per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati (nel nostro caso un Analizzatore Multicanale portatile collegato ad un Personal Computer Notebook).
I rivelatori di radiazione X classicamente utilizzati per analisi XRF ad alta risoluzione (ad esempio i rivelatori in Silicio compensato con Litio) devono essere raffreddati alla temperatura dell'azoto liquido (circa 200 °C sotto lo zero). Il SDD, al contrario, raggiunge elevate risoluzioni spettroscopiche a temperature prossime a quelle ambiente (pochi gradi centigradi sotto lo zero, raggiungibili con un semplice refrigeratore termoelettrico miniaturizzato di tipo Peltier). Questa peculiare caratteristica ha consentito di realizzare spettrometri di elevate prestazioni analitiche compatti e ideali per analisi *sul campo*. Un dato tecnico: i SDD dell'ultima generazione consentono di raggiungere una risoluzione spettroscopica dell'ordine dei 135 eV sulla riga di emissione X Ka del 55Fe, operando ad una temperatura di circa -10 °C e con tempi di formatura del segnale dell'ordine di 1 µs. La struttura del Rivelatore a Deriva a Semiconduttore sviluppato per analisi XRF è rappresentata in Figura 1.

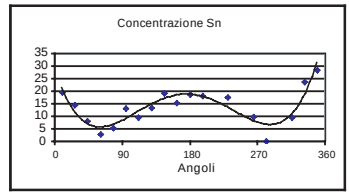
the integration of the front-end transistor allows to perform X-ray spectroscopy with excellent energy resolution.

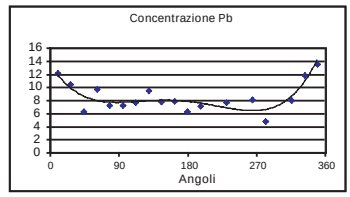
The on-field measurement campaigns

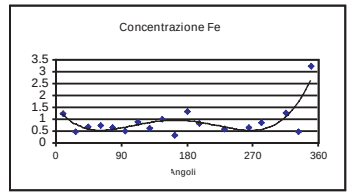
Figure 2 shows the first version of the XRF spectrometer during a measurement on an egyptian shroud of the III century a.C.
We performed these measurements during the preservative restoration of the found at the Vatican Museums (Vatican City).
The small dimensions and the handyness of the spectrometer allowed us to perform the measurement keeping the shroud in horizontal position thus avoiding the risk of detachment of pictorial fragments Figure 3 shows the XRF spectrum of the earing of the female. Iron due to the yellow ochre $Fe(OH)_3$ and Arsenic, proper of the orpiment (arsenic trisulphid) As_2S_3 are clearly visible together with the spectral line of Gold that was used to make precious the earing surface.
Figure 4 shows a more recent version of the spectrometer that was used at the Capitoline Museums (Rome) in a measurement campaign on the Lupa Capitolina (Capitoline she-wolf). The measure-

5.
Composizione percentuale della lega bronzea della Lupa misurata nei punti indicati
Elemental composition of the bronze alloy of the 'Lupa Capitolina', measured in the quoted positions









Gli elettroni generati nel silicio dall'interazione con la radiazione X, sotto l'azione di opportuni campi elettrostatici, derivano verso il piccolo anodo centrale dove vengono raccolti. Un transistore a effetto di campo (JFET) integrato accanto all'anodo costituisce il primo stadio del circuito di amplificazione del segnale. La bassa capacità di uscita del rivelatore e l'integrazione del transistore consentono di raggiungere elevate risoluzioni spettroscopiche.

Le campagne di analisi sul campo

Un primo prototipo dello spettrometro XRF è mostrato in Figura 2 in azione su di un telo funebre egizio del III secolo d.C.
Le misure sono state eseguite durante i lavori di restauro conservativo del reperto presso i Musei Vaticani (Città del Vaticano).
Le piccole dimensioni e la maneggevolezza dello spettrometro hanno consentito di mantenere orizzontale il telo, evitando così il rischio del distacco di frammenti pittorici. La Figura 3 mostra lo spettro di fluorescenza X dell'orecchino della figura femminile. Si nota la presenza di Ferro, relativo ad una Ocra gialla $Fe(OH)_3$ e di Arsenico, caratteristico dell'Orpimento As_2S_3.

ment head shown in the photo comprises the miniaturised X-ray source, provided with the collimator and the laser pointer, the radiation detector with the cooling system and the electronic circuits needed for the detector biasing and for signal amplification. The analysis is performed by bringing the measurement head near the sample at 1cm distance. The X-ray collimated beam has a diameter of about 2mm. An easy placement of the spectrometer is achieved also for object with irregular shape thanks to its small dimensions.
Figure 5 shows the mode of the bronze alloy measured in the points highlighted in the figure itself (the percentage of Copper is not shown). We do not see any sharp variation in the elemental composition of the alloy. Therefore the hypothesis of the addition of the mammae (according to somebody performed in the Roman Age to celebrate the founders of the town) after the original melting (supposed of the Etruscan Age). The vertical symmetry of the inhomogeinity of the alloy composition is compatible with a melting procedure that kept the statue in the uprigght position.

Inoltre si notano le righe spettrali dell'Oro con cui era stata impreziosita la superficie dell'orecchino. La Figura 4 mostra una versione recente dello spettrometro durante alcune fasi delle analisi effettuate sulla Lupa Capitolina presso i Musei Capitolini (Roma). Nella testa di misura, visibile nella foto, sono compresi il tubo radiogeno miniaturizzato, dotato di collimatore e di laser di puntamento, il rivelatore di radiazione con il relativo sistema di raffreddamento, i circuiti elettronici per la polarizzazione del rivelatore e per l'amplificazione dei segnali generati dallo stesso. Durante l'analisi, la testa di misura viene avvicinata ad una distanza di circa 1 cm dal campione. Il fascio collimato di raggi X ha un diametro di circa 2 mm. La compattezza dello spettrometro permette un agevole posizionamento dello stesso anche in manufatti di forma complessa. La Figura 5 mostra la composizione percentuale della lega bronzea misurata nei punti indicati nella figura stessa (è omessa l'indicazione della percentuale di Rame). Non sono evidenti brusche variazioni della composizione della lega. Cade quindi l'ipotesi di una aggiunta, posteriore alla fusione originale (supposta di epoca etrusca), degli attributi femminili (secondo alcuni operata in epoca romana per esaltare i fondatori della città). La simmetria verticale della non-omogeneità della composizione della lega è compatibile con un procedimento di fusione dell'opera in posizione eretta.

Lo spettrometro per Elemental mapping

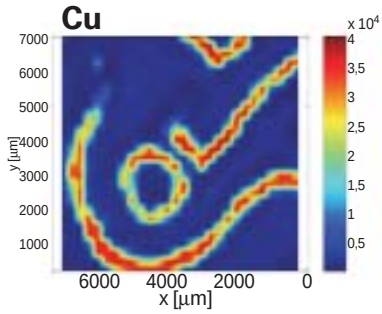
È in fase di sviluppo presso il Gruppo di ricerca uno spettrometro XRF progettato per determinare la distribuzione spaziale degli elementi chimici nel campione in esame. A differenza di quanto accade con i microscopi elettronici a scansione (SEM) la misura avviene in aria e non è necessario il prelievo di un campione dal manufatto né la sua metallizza-

The spectrometer for elemental mapping

We are presently developing an XRF spectroemter designed to map the elemental composition of the chemical elements in the sample under test. Differently from the measurements performed with the scanning electron microscope (SEM) the measurement is performed in air without taking out a sample from the object. Moreover the metalization of the sample is not needed, thus allowing a non-destructive characterization. The spectrometer mounts a ring-shaped monolothic array of SDDs. A polycapillar lense for X-rays is housed in the hole in the center of the array and is used to focus the exciting beam in a 100 µm-diameter spot on the sample. The assembly of the exciting source and of the detection head allows to make fast scans of the selected area with high spatial and energy resolution, thus giving a map of the chemical elements in the sample. Figure 6 shows the results of the analysis of a Lombard buckle of the VII century a.C. found near Trezzo d'Adda, Italy, presently at the Civic Archaeological Museum of Milano. The analysis shows the composition of the substrate (iron) and of the inlaid works (silver and copper).

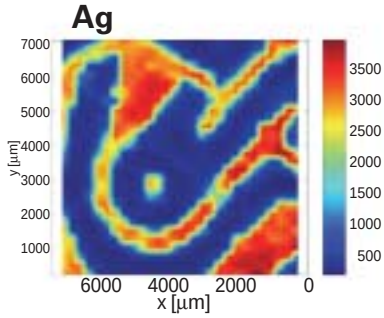
Acknowledgement

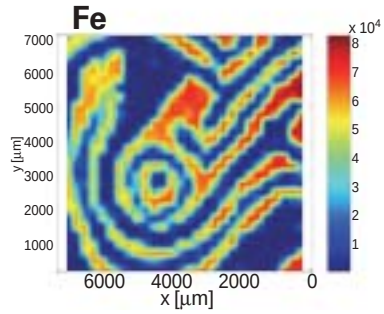
The contribution of A. Gianoncelli, S. Buzzetti and M. Bellini (PhD students and research collaborators) has been fundamental for the development of the spectrometers.



6.
Analisi eseguita con lo Spettrometro XRF per 'Elemental Mapping' di una guarnizione ageminata longobarda del VII secolo d.C. trovata presso Trezzo d'Adda, Italia (Civico museo Archeologico di Milano)

Analysis performed with the XRF Spectrometer for 'Elemental Mapping' of a Lombard buckle (inlaid work) of the VII century a.C. found near Trezzo d'Adda, Italy (Civic Archaological Museum of Milano)





zione. L'analisi può pertanto essere non-distruttiva. Viene utilizzato un nuovissimo rivelatore costituito da una matrice monolitica di SDD disposti ad anello attorno un foro realizzato nel Silicio. Il fascio di eccitazione viene focalizzato per mezzo di una lente policapillare per raggi X e raggiunge il campione attraversando il foro nel rivelatore. L'area eccitata del campione ha un diametro di meno di 100 µm. La particolare struttura del sistema di eccitazione e rivelazione consente di operare in tempi brevi e con elevata risoluzione spaziale e spettroscopica scansioni dell'area interessata fornendo dettagliate immagini della distribuzione spaziale degli elementi chimici. La Figura 6 mostra i risultati dell'analisi di una guarnizione ageminata Longobarda del VII secolo d.C. trovata presso Trezzo d'Adda e conservata presso il Civico museo Archeologico di Milano. L'analisi mostra la composizione del substrato (ferro) e degli intarsi (argento e rame).

Ringraziamenti
Hanno partecipato allo sviluppo dei sistemi descritti i dottorandi ed assegnisti A. Gianoncelli, S. Buzzetti e M. Bellini. Il loro contributo è stato fondamentale.

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

[1]
E. Gatti, and P. Rehak, Nucl. Instr. and Meth., A 225, p. 608, (1984)

[2]
C. Fiorini, A. Longoni, IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 46, n° 6, p. 2011, 1999

[3]
A. Longoni, C. Fiorini, C. Guazzoni, et al., IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 49, n°3, p. 1001, 2002

Erica Mannucci
Giuseppe Zerbi

Tecniche innovative per lo studio di materiali nei Beni Culturali: spettroscopie infrarosse e Raman

Innovative techniques in the study of materials in the Cultural Heritage: infrared and Raman spectroscopy

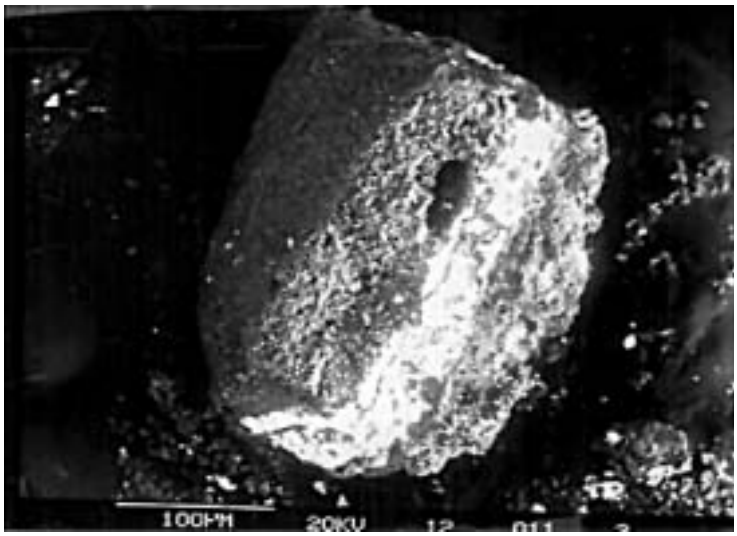
Introduzione

Gli studi nel campo della Conservazione dei Beni Culturali richiedono oggi contributi ed analisi di carattere scientifico che permettano l'identificazione delle componenti chimiche che costituiscono i materiali in genere e che consentano di caratterizzare lo stato di conservazione degli stessi.
È inoltre ovvio che, nell'affrontare i problemi della conservazione, sorge la necessità di poter disporre di tecniche d'indagine il più possibile non distruttive.
A tal fine, il nostro gruppo di ricerca utilizza tecniche diagnostiche di tipo ottico (spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier, spettroscopia Raman) per cercare di comprendere alcune problematiche *scientifiche* che ogni lavoro di restauro necessariamente comporta. È noto che, in tutte le molecole, gli atomi eseguono dei moti vibratori che possono essere sperimentalmente evidenziati da opportune misure fisiche di tipo ottico. I moti vibrazionali degli atomi delle molecole possono venire eccitati per interazione con un'onda elettromagnetica; illuminando il campione con particolari fasci di luce è cioè possibile registrare i cosiddetti *spettri vibrazionali*.
Lo spettro vibrazionale di una molecola è sostanzialmente unico e può essere considerato come *l'impronta digitale* della molecola stessa.
La spettroscopia vibrazionale può quindi essere

Introduction

The studies in the field of conservation of Cultural Heritage require today a scientific approach to the various analysis which provide the way to identify the chemical composition of materials in general and which allow to characterize their state of conservation. It is obvious that in facing the problems of conservation it is mandatory to use techniques which must be non-destructive.
At this aim our research group has paid much attention in the use of optical diagnostic tools (Fourier Transform Infrared spectroscopy, Raman Spectroscopy) with the purpose to understand the problem presented by the restorer and to solve them in terms of a scientific approach.
It is well known that in all molecules atoms perform vibrational motions which can be experimentally revealed by means of physical optical measurements. The vibrational motions of the atoms in the molecules can be excited by the interaction of an electromagnetic wave, i.e. by a light of a suitable wavelength; it is then possible to record the so called *vibrational spectra* with fully automatic instruments which are the results of extremely interesting new technologies. The vibrational spectrum of a molecule is unique and can be considered as the *fingerprint* of the molecule itself. Vibrational spectroscopy can then be used as a diagnostic tool for the determination of the chemical composition of a given substance.
In this work we try briefly to present a few cases of the use of vibrational spectroscopy in the field of Cultural Heritage.
1. Painting materials: characterization of some of the organic and inorganic components related to the restoration work of Last Supper by Leonardo Da Vinci;
2. Stone Materials: study of the use of polymeric materials for the protection of some monuments in the Lombardia Region;
3. Paper materials: identification of the pigments in the filigreed capital letters on manuscripts.
The work of identification is made easier and faster having collected data base which collect infrared and Raman spectra of materials used as reference.
As in all analytical spectroscopic analysis the correlations between characteristic *group frequencies* have been adopted.

1.
Fotografia al SEM di un campione prelevato dall'Ultima Cena di Leonardo da Vinci
SEM of a sample taken from the Last Supper by Leonardo da Vinci

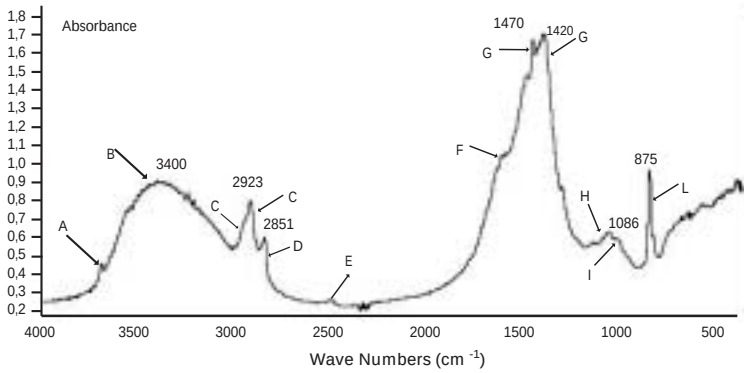


usata a scopo diagnostico per il riconoscimento chimico di una sostanza.
In questo lavoro si cercheranno di illustrare brevemente alcuni casi di applicazione della spettroscopia vibrazionale allo studio di diversi materiali nel campo dei Beni Culturali:
1. Materiali pittorici: caratterizzazione di alcune delle componenti organiche ed inorganiche coinvolte nei lavori di restauro dell'Ultima Cena di Leonardo da Vinci;
2. Materiali lapidei: studio di interventi protettivi a carattere polimerico effettuati su monumenti lombardi;
3. Materiali cartacei: identificazione di pigmenti costituenti iniziali filigranate su carte membranacee manoscritte.
Per facilitare l'indagine spettroscopica e permettere quindi una rapida identificazione delle sostanze presenti nei materiali in esame, sono state costituite diverse banche dati registrando spettri infrarossi e Raman di materiali di riferimento.
L'analisi correlativa degli spettri mediante lo studio di vibrazioni localizzate di gruppo ha costituito lo strumento analitico primario di tutti i casi considerati.

Last Supper by Leonardo da Vinci

During the first part of the restoration carried out a few years ago, our research group was involved in the analysis and documentation with physical measurements at the chemical level of the organic and/or inorganic components involved in the restoration works. 14 samples have been taken in various sections of the painting. The average size of each sample was of approximately 0.5 mm.
Some of the samples removed from the painting consist of a series of stacked layers which should correspond to the various phases of the making of the painting [Figure 1]. We can distinguish in general the plaster in contact with the underlying wall, a layer of *preparation*, an intermediate layer and finally the layer with the pigment. In order to identify the organic components generally existing everywhere in all the samples examines we take as reference the infrared spectrum of sample 1 taken from the *Mantel of Saint Simon* [Figure 2].
In this spectrum the absorption peaks labeled as A,E,G and L originate from the inorganic fraction of the substrate (calcium carbonate and magnesium hydroxyde) while the organic fraction can be identified by a few characteristic peaks as follows:

2.
Campione prelevato dal "Manto di San Simone" dell'Ultima Cena di Leonardo da Vinci: spettro FT-IR
Sample taken from "Mantel of Saint Simon" of the Last Supper by Leonardo Da Vinci



L'Ultima Cena di Leonardo da Vinci

Durante la prima fase dei lavori di restauro condotti in questi ultimi anni sull'Ultima Cena, al nostro gruppo di ricerca era stato richiesto di analizzare e documentare con misure fisiche a livello chimico molecolare le componenti organiche e/o inorganiche coinvolte nei lavori di conservazione.

Sono stati prelevati 14 campioni in zone diverse del dipinto. La dimensione media dei campioni è di circa 0,5 mm.

I campioni prelevati si presentano in genere come una serie di strati sovrapposti che dovrebbero corrispondere alle diverse fasi di realizzazione del dipinto [Figura 1]. Si distinguono in genere l'intonaco depositato su una struttura muraria, uno strato di preparazione, una stesura intermedia e, in ultimo, la pellicola pittorica.

Al fine di identificare le componenti organiche ed inorganiche presenti, in media, su tutti i campioni esaminati, assumiamo come riferimento lo spettro infrarosso del campione 1 prelevato dal *Manto di San Simone* [Figura 2].

L'analisi di tale spettro ha permesso di identificare i picchi A,E,G,L come provenienti dalla frazione inorganica del supporto (carbonato di calcio e

the strong and broad band B (near 3400 cm^{-1}) immediately suggests the existence of groups OH (hydroxyl or aromatic) variously linked by hydrogen bonds. The triplet C*,C and D is associated to the stretching of the C-H bonds of $-CH_3$ (C*) and CH_2 (C and D) occurring either in natural oils or in mineral or natural waxes.

The deformation vibrations of the CH_2 groups give rise to the band near 1470 cm^{-1} (G*) and a band near 720 cm^{-1} (CH_2 rocking of CH_2 groups in long polymethylene chains. This line is very weak in the samples of the Last Supper but is clearly noticeable in the spectra of linseed oil and beeswax.

A broad and complex structure is observed between 1050-1100 cm^{-1} where generally the stretching of the group C-O is observed in alcohols, ethers and esters.

The infrared spectrum of shellac, organic resins used in the restoration work carried out after 1946 under the direction of M.Pelliccioli, coincide almost exactly with the spectrum of the samples examined. The occurrence on the painting of beeswax [Figure 3] has been supported by the FT-Raman spectrum of sample 5 where the observed lines turn out to be almost identical to those of the

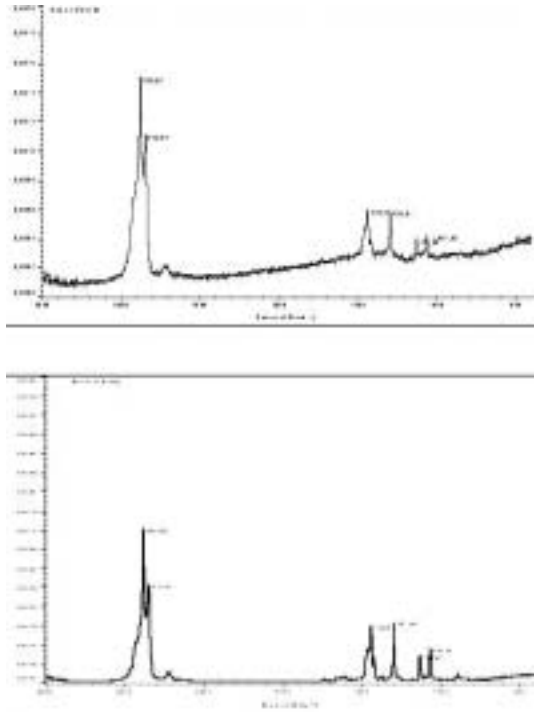
magnesio idrossido) mentre, per l'identificazione della frazione organica, sono state individuate bande caratteristiche di alcuni gruppi funzionali che hanno permesso di riconoscere alcune classi di composti chimici. Alle alte frequenze, il picco intenso e largo B (3400 cm^{-1} circa) indica l'esistenza di gruppi OH ossidrilici e/o fenolici (variamente legati con legame idrogeno) mentre il tripletto C*, C e D è associato alle vibrazioni di stiramento dei legami CH di gruppi metilici CH_3 (C*) e metilenici CH_2 (C, D) presenti sia negli oli naturali che nelle cere. Le vibrazioni di deformazione di gruppi CH_2 originano una banda a circa 1470 cm^{-1} (G*) e una banda a 720 cm^{-1} (da associare al moto dei CH_2 rocking di lunghe catene polimetileniche) troppo debole per essere osservata nei campioni della Cena, ma chiaramente visibile negli spettri relativi all'olio di lino e alla cera d'api.
Una struttura larga e complessa è invece osservata intorno a 1050–1100 cm^{-1} dove, in genere, sono presenti gli assorbimenti dovuti alle vibrazioni di alcoli, eteri ed esteri. Lo spettro della gommalacca, resina organica utilizzata nei restauri condotti dopo il 1946 sotto la direzione di M.Pelliccioli, coincide quasi esattamente con la parte organica dei campioni esaminati.
La presenza di cera d'api [Figura 3] sul dipinto è stata invece confermata dallo spettro FT-Raman del campione 5 le cui bande risultano essere quasi identiche a quelle dello spettro della cera d'api pura. (per una più completa trattazione delle analisi svolte si rimanda alla bibliografia indicata).

Studio di interventi protettivi a carattere polimerico effettuati su monumenti lombardi

La spettroscopia vibrazionale si è rivelata essere un utile strumento anche nell'analisi di materiali lapidei e delle loro problematiche di degrado e

3.
Spettro FT-Raman di un campione prelevato dalla tovaglia dell'Ultima Cena di Leonardo da Vinci confrontato con lo spettro FT-Raman della cera d'api

FT-Raman spectrum of a sample taken from the table-cloth of the Last Supper by Leonardo da Vinci compared with the FT Raman spectrum of Beeswax

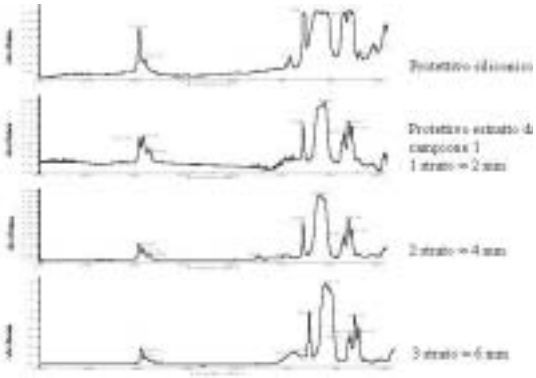


pure beeswax. For a more complete discussion of these analysis we refer to the bibliography quoted at the end of this paper.

Study of the protective actions with polymer materials on monuments in the Lombardia Region

Vibrational spectroscopy turned out to be an essential tool also in the analysis of stone materials and of the associated problems of their degradation and conservation. In the past thirty years the interest of researchers has focussed the attention to the decay processes of stones; on the contrary not much has

4.
Spettri infrarossi a diverse profondità di un protettivo siliconico applicato su provino di Calcarenite di Noto
Infrared spectra at different penetration depths of a silicon protective applied on a sample of the stone of Calcarenite of Noto

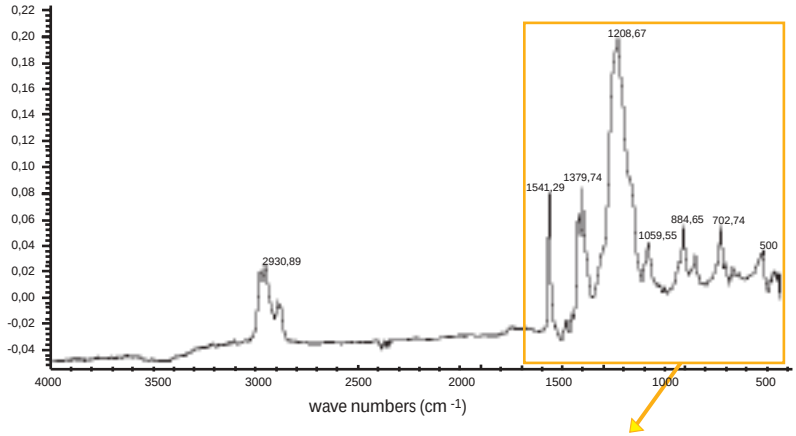


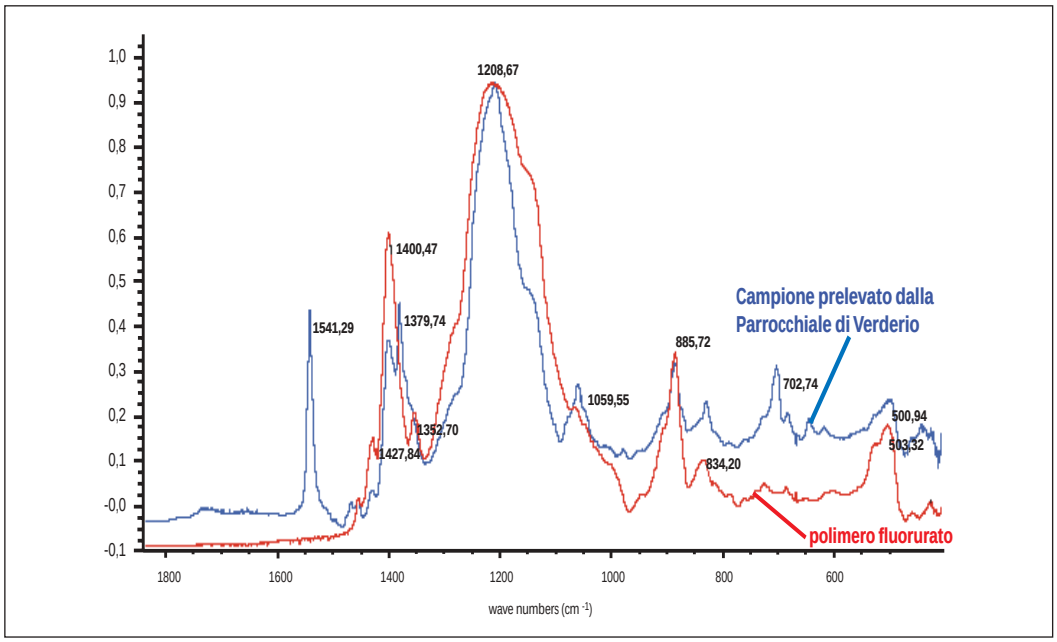
conservazione.
Negli ultimi trent'anni infatti, il crescente interesse dei ricercatori per il problema della conservazione dei materiali lapidei ha senza dubbio apportato notevoli progressi nella comprensione dei meccanismi di degrado della pietra ma, per contro, un eguale progresso non è stato riscontrato per le operazioni di protezione.
Dalla collaborazione tra il nostro laboratorio e il Dipartimento di Conservazione e Storia dell'Architettura, è nata la proposta di utilizzo della spettroscopia vibrazionale quale metodo d'indagine complementare a quelli generalmente utilizzati, al fine di poter dare un contributo nuovo ad alcuni problemi ancora aperti nel campo della protezione dei materiali lapidei:
• Profondità di penetrazione del protettivo;
• Interazione protettivo – supporto;
• Permanenza o eventuale allontanamento del protettivo dal supporto anche a distanza di anni dalla sua applicazione.
Come materiali rappresentativi sono stati scelti alcuni protettivi chimici appartenenti rispettivamente alle classi dei materiali siliconici e fluorurati.

been developed for the actions of protection.
From a collaboration between our laboratory and the Department of Conservation and History of Architecture, e project has developed to use Vibrational Spectroscopy as a tool for the study of the processes of protection and conservation of stone materials by means of polymeric substances.
The points of interest in the research were the following :
• Depth of penetration of the protective substance;
• Interaction between stone and protective material;
• Existence, decay and possible removal of the polymeric protective also after many years of its application.
As representative materials we have chosen a few chemical substances which belong to the class of silicon or fluoromaterials. Most of the samples examined were prepared in the laboratory; it has been also possible to remove *in situ* some of the old materials deposited on a few monuments many years ago (30 years).
The laboratory tests were carried out on two stone materials characterized by a different porosity, namely Marble of Candoglia and Calcarenite of Noto.
The infrared spectra have shown that:
• The depth of penetration can reach value of 6 mm (this is the limit of the measurements we have carried out) on the Calcarenite of Noto while only 2 mm on Marble of Candoglia [Figure 4];
• The distribution at different depths can be non homogeneous;
• If the protective consists of a mixture of various components fractions can be separated along the penetration.
Regarding the *in situ* analysis, i.e. from samples taken directly from the monument after many years, with vibrational spectroscopy we have iden-

5.
Spettro infrarosso di un campione prelevato dalla Parrocchiale di Verderio: si osservano le bande caratteristiche del protettivo fluorurato e altre bande attribuibili a sostanze e materiali che, nel corso del tempo, si sono depositate sulla superficie del monumento

Infrared spectrum taken from the Parochial Church of Verderio: notice the bands characteristic of the original fluorinated protective and the bands to be assigned to substances and materials which were deposited on the surface of the monument along the years starting from 1992



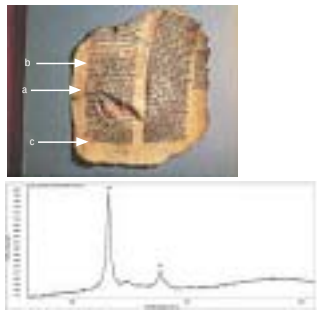


Sono stati esaminati principalmente campioni preparati in laboratorio ed è stato anche possibile effettuare alcuni prelievi *in situ* su alcuni monumenti lombardi trattati con protettivi diversi.
La scelta dei provini su cui effettuare la sperimentazione di laboratorio è ricaduta su due pietre caratterizzate da una diversa porosità: Marmo di Candoglia e Calcarenite di Noto.
Gli spettri di assorbimento infrarosso hanno dimostrato che:
• Il protettivo può penetrare nel provino raggiungendo in genere profondità di 6 mm (limite delle misure effettuate) sulla Calcarenite di Noto e di 2 mm sul marmo di Candoglia [Figura 4];
• La distribuzione a diverse profondità può non essere chimicamente omogenea;
• Può avvenire una separazione di frazioni chimicamente diverse originate da un protettivo inizialmente costituito da una miscela di componenti.
Per quel che riguarda le analisi *in situ*, la spettroscopia vibrazionale si è rivelata strumento utile ai fini dell'identificazione degli effetti ambientali e della permanenza o meno del protettivo, a distanza di anni, dalla superficie lapidea. A titolo di esempio, sulla Parrocchiale di Verderio (CO), trattata nel 1992 con un elastomero fluorurato, gli spettri infrarossi hanno rivelato la presenza del protettivo e la co-presenza di sostanze e materiali che, nel corso del tempo, si sono depositate sulla superficie del monumento [Figura 5].

Identificazione di pigmenti costituenti iniziali filigranate su carte membranacee manoscritte

La spettroscopia Raman, dato il suo carattere intrinsecamente non distruttivo, è oggi molto utilizzata per l'identificazione di pigmenti su dipinti su tela, affreschi, manoscritti, ecc.
Riportiamo, a titolo di esempio, un'analisi effettuata in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Nucleare su carte manoscritte conservate presso la Biblioteca Universitaria di Torino, la cui decorazione era stata ottenuta a partire da una tavolozza basata essenzialmente su due colori: rosso e blu.
Lo spettrometro Raman ha permesso di effettuare l'analisi senza alcun prelievo di campione focalizzando direttamente il raggio laser (linea eccitatrice a 632,8 nm) sul pigmento di interesse.
Il cinabro è risultato essere il pigmento rosso utilizzato nel corpo delle lettere, negli elementi orna-

6.
Lo Spettro Raman del colore rosso presente sulla carta membranacea ha permesso di identificare come cinabro il pigmento utilizzato
Raman spectrum of the red pigment on the manuscripts which has been identified as cinnabar



tified the effects of the environment. As an example the external walls of the Parochial Church of Verderio were covered by a fluoro elastomer in 1992. The infrared spectra have revealed still part of the protective co-existing with substances which were deposited along the years [Figure 5].

Identification of pigments in the filigreed capital letters on manuscripts

Because of its intrinsic non destructive character, Raman spectroscopy is today often used for the identification of oil-painting on canvasses, frescoes, manuscripts etc. As an examples we report here an analysis carried out in a project with the Department of Nuclear Engineering on manuscripts stored in the University Library of Turin.
On these manuscript the decoration was obtained from palette based essentially on two pigments, one red and one blue. There was no need of taking a small sample out of the manuscript.
The laser beam (exciting line 632.8 nm) was directly focused on the pigment.
The result clearly showed that the red pigment used in the body of the letters and in the orna-

mentali e nelle lettere rosse dei capitoli rubricati [Figura 6]; il pigmento blu è risultato invece essere lapislazzulo.

Conclusioni

In questo lavoro si è cercato di illustrare, a titolo di esempio, alcuni casi di applicazione della spettroscopia vibrazionale, infrarossa e Raman, allo studio di diversi materiali caratteristici del settore dei Beni Culturali. La tecnica fornisce un'immediata documentazione scientifica sulla natura chimica del materiale e permette di studiarne gli eventuali processi degradativi o i diversi interventi conservativi. Entrambe le tecniche possono considerarsi non distruttive: la spettroscopia infrarossa richiede infatti pochissime quantità di campione ai fini dell'analisi; la spettroscopia Raman permette di utilizzare il campione in qualsiasi forma, senza che venga richiesta una particolare preparazione. Gli ultimi sviluppi della tecnologia permettono inoltre oggi di registrare spettri Raman direttamente *in situ* tramite sonde a fibre ottiche.

ments was cinnabar [Figure 6] while the pigment of blue color was lapislazzulo.

Conclusions.

In this work we have tried to present, as examples, a few cases of application of vibrational spectroscopy (infrared and Raman) to the study of various materials related to cultural heritage. The techniques provides an immediate scientific documentation on the chemical nature of the material and allows to identify and study the degradation processes or the various actions aimed at restoration. Both techniques can be considered non destructive since Raman spectroscopy is reduced to shine a laser light on the sample(without any previous preparation or treatment) . The last technological development allows to record Raman spectra directly *in situ* with the use of optical fibers.

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

[1]
E.Galbiati, E.Mannucci, G.Zerbi, Nuove Tecniche Diagnostiche per l'Analisi di Materiali Pittorici: l'Ultima Cena, Tema 4 (1998) 44-51

[2]
E.Mannucci, R.Pastorelli, G.Zerbi, C.E.Bottani and A.Facchini, J.Raman Spectrosc. 31 (2000) 1089-1097

[3]
E.Mannucci, G.Zerbi, Art and Spectroscopy: Looking to Paint and Parchments, GNSR 2001, State of Art and Future Development in Raman Spectroscopy and Related Techniques, IOS Press, 2002

Massimo Valentini
Riccardo Negrotti

L'attività di diagnostica del Fi.T.Be.C. presso il Battistero della Collegiata di Castiglione Olona e il Convento dell'Annunciata di Abbiategrasso

Diagnostic activity of Fi.T.Be.C. laboratory: the Baptistery of the Collegiata of Castiglione Olona and the Convent of the Annunciata of Abbiategrasso

Introduzione

Il Laboratorio di Fisica Tecnica Ambientale per i Beni Culturali (Fi.T.Be.C.) rappresenta la formalizzazione di un'attività di ricerca e diagnostica che è in essere all'interno del dipartimento di Energetica fin dagli anni '60, periodo di fondazione dell'allora centro di microscopia elettronica, poi trasformato in centro del C.N.R. dedicato alla memoria di Gino Bozza (Rettore del Politecnico con un profondo interesse per le opere d'arte), ed attualmente integrato nell'Istituto per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali (I.C.V.B.C.).
A parte gli studi iniziali sui materiali metallici, l'interesse si è concentrato sui materiali lapidei naturali ed artificiali (marmi, pietre, malte, intonaci, prodotti ceramici) e, necessariamente, sui manufatti, in particolare gli edifici, che tali materiali utilizzano.

Le competenze del laboratorio

Oltre a studi a carattere sperimentale sui meccanismi di degrado dei materiali lapidei e sull'efficacia di alcune tecnologie utilizzate nel restauro, il laboratorio ha un'intensa attività di diagnostica mirata alla valutazione dello stato di conservazione del manufatto in relazione agli scambi di massa e calo-

Introduction

The Fi.T.Be.C. laboratory (Thermal environment engineering for Cultural Heritage) collects the knowledge of the research and diagnostic activity of the Dipartimento di Energetica of Politecnico di Milano born in the sixties with the Centre for Electron Microscopy (this Centre was later officially founded under an agreement with C.N.R. in memory of Gino Bozza, Director of the Politecnico and scientist deeply interested in works of art. It is now integrated in the Institute for Conservation and Valorisation of Cultural Heritage). After some initial studies about metallic artefacts, the interest of the laboratory actually concerns natural and artificial stone materials (marble, stone, mortar, plaster, ceramics products) and their utilization in the historical buildings.

Laboratory competences

Besides studies about decay mechanisms and effectiveness of some restoration technologies, the laboratory develops an intense activity of diagnostic aimed to estimate the transfer of heat and mass to the environment; particularly, the presence and the provenience of water and salts into walls was investigated. This phenomena combined with the internal microclimate conditions are one of the main cause of stone degradation and decay processes. Water and soluble salts are often in the walls of ancient buildings; this induce the decay of stone by way of some phenomenona like the cycles of evaporation and watering of the wall surfaces (which correspond cycles of crystallization of salts that cause strong thrusts on the porous of the material due to their volume variations) and the catalyst action of the water with some pollutant products in the air (carbon and sulphur oxides).
Another material decay factor is the environment

1.
Castiglione Olona. Sonda per la misura della temperatura ed umidità relativa dell'aria interna
Castiglione Olona. Internal air temperature and relative humidity probe

re con l'ambiente; in particolare, vengono indagati la presenza e le modalità di provenienza dell'acqua e dei sali nelle murature di un edificio e le condizioni microclimatiche degli ambienti confinati, elementi che producono effetti combinati sul degrado dei materiali lapidei.
Acqua e sali solubili sono spesso presenti nelle murature degli edifici antichi: ad essi sono associati fenomeni di degrado legati a vari meccanismi di attacco tra i quali vanno ricordati i cicli di evaporazione e bagnatura delle superfici murarie (cui corrispondono cicli di cristallizzazione e risolubilizzazione dei sali che provocano forti spinte nei pori dei materiali lapidei a causa delle variazioni di volume dei sali stessi) e l'azione di catalizzatore che l'acqua ha nei confronti di quei prodotti inquinanti presenti nell'aria, tipicamente gli ossidi di carbonio e di zolfo, in grado di attaccare i componenti della pietra e distruggerli.
Se acqua e sali danneggiano la muratura *dall'interno*, l'altro fattore di degrado dei materiali lapidei è imputabile a ciò che sta *fuori*, vale a dire l'ambiente che avvolge il manufatto. Oltre all'aspetto chimico, le grandezze che hanno un'azione di tipo fisico sul degrado dei materiali lapidei sono parametri quali la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, le temperature delle superfici, le precipitazioni atmosferiche, l'illuminamento, il contenuto in polveri, ecc. (in questo ambito il Laboratorio Fi.T.Be.C collabora con il Laboratorio di condizionamento dell'aria e refrigerazione del Dipartimento di Energetica). L'approccio metodologico delle misure sarà diverso a seconda che il *soggetto* indagato sia il contenitore stesso (vale a dire l'edificio di pregio storico, artistico, architettonico) oppure il contenuto (in generale l'oggetto esposto in un museo); in entrambi i casi, lo scopo è quello di valutare le condizioni ambientali in cui il Bene è

that *wraps* the building. Apart from the chemical actions, the other factors that have a physical action are the climate and microclimate parameters (temperature and relative humidity of the air, surface temperature, rainwater, radiation, particulate content, etc.). The methodological approach is different according if the measures are carried out on buildings or museum objects: however, the aim is to evaluate the environmental conditions and to find out the decay path of objects.
The knowledge of the laboratory led to a definite project sequence: diagnosis, intervention, and

conservato ed indagare l'esistenza di meccanismi di degrado dei materiali.
Le conoscenze del laboratorio si inseriscono così in un preciso percorso progettuale che lega *diagnosi*, *intervento*, *controllo*. La diagnosi permette di definire lo stato igrometrico delle strutture murarie, di caratterizzare il comportamento dei materiali costituenti l'edificio nei confronti dell'acqua e di valutare l'azione dell'ambiente sul manufatto; la necessità dell'intervento e la sua progettazione vengono definite in relazione ai risultati acquisiti nella fase precedente (e alla conoscenza delle caratteristiche del manufatto e dell'intervento stesso); il controllo, a posteriori, consente di valutare la reale efficacia dell'intervento nei riguardi dell'edificio in esame e permette di acquisire conoscenza ed esperienza per gli interventi futuri. Per presentare l'aspetto più operativo dell'attività del laboratorio, sono stati scelti due casi reali; due metodologie di indagine diverse tra loro perché diversi erano gli obbiettivi e le esigenze conservative, ma che hanno in comune la sensibilità dimostrata dai progettisti degli interventi nei confronti della tutela del Bene Culturale e di quel cammino progettuale appena indicato che vede le indagini diagnostiche come il primo, necessario passo per definire il seguito dell'intervento.

Le condizioni di conservazione degli affreschi presso il Battistero della Collegiata di Castiglione Olona

Costruita su una collina a picco sul fiume Olona, Castiglione conobbe un periodo di splendente rinascita a partire dal 1420 ad opera del cardinale Branda Castiglioni, che la ricostruì secondo lo stile e le idee del Rinascimento. In cima ad una strada in acciottolato, attraverso un arco, antico ingresso della rocca, ci si immette sul sagrato della Collegiata della Beata Vergine e dei Santi Stefano e Lorenzo costruita in stile gotico lombardo. Sul lato sinistro della Collegiata sorge il Battistero di San Giovanni, ricavato in una torre dell'antica rocca, al cui interno è visibile il ciclo di affreschi di Masolino da Panicale rappresentante le storie di S. Giovanni Battista e datato 1435. Oltre alle indagini diagnostiche di supporto al recente restauro degli affreschi (che negli anni '60, a causa del loro degrado, erano già stati staccati, collocati su pannelli e rimessi in sede) si è proceduto, su indicazione della competente Soprintendenza, ad una campagna di misure allo scopo di monitorare le condizioni ambientali nelle quali sono conservati gli affreschi stessi per

2.
Castiglione Olona.
Termocoppia per la misura della temperatura di superficie posta sulla vela di una volta
Castiglione Olona.
Termocouple for surface temperature measure on a vault

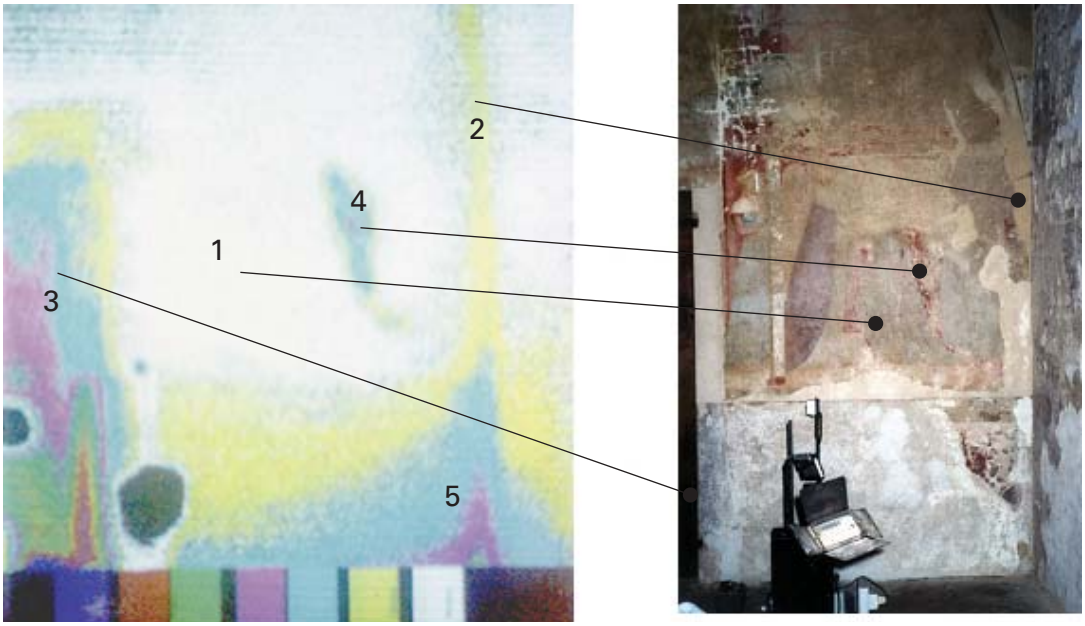
monitoring. The diagnosis defines the hygrometric condition of the building walls, the water behaviour in the materials and the environmental actions involved; the opportunity and the project of an intervention have to come from the results of the first step, the analysis of building and the intervention characteristics; the monitoring consent to evaluate the real effectiveness of the intervention and to acquire new knowledge and new experience for the future.
In order to highlight the operative activity of the laboratory, two real cases are presented; two different enquire methodologies, as far as different were the aims and the requirements, that nevertheless show the same sensibility for the protection of the Cultural Heritage and for the project sequence showed above.

The Baptistery of the Collegiata in Castiglione Olona: frescoes conservation conditions measures

Castiglione Olona was built on a hill by Branda Castiglioni according with Rinascimental style.
At the top of a cobbled paving road, there is the entrance of the Collegiata della Beata Vergine, built on an ancient fortress in a gothic style. On the left side there is the Baptistery, built in a tower of the fortress. Inside the Baptistery there is a cycles of frescoes painted by Masolino da Panicale in 1435.
After some initial measurements in order to aid a recent frescoes restoration (in the sixties the frescoes was put on panels to avoid their degradation) a series of measurements to monitoring environmental conditions was carried out to decide if an internal microclimate control plan was necessary or not.
The presence of water and salts in the walls and the fluctuations of air and surface temperature and relative humidity of the air have been monitorated.

3.
Castiglione Olona.
Termogramma e corrispondente immagine nel campo del visibile della parete Ovest. Nell'immagine termografica si possono riconoscere i contorni del pannello che supporta l'affresco (1), lo spigolo tra le due pareti (2) e la porta di ingresso (3).
La macchia azzurra al centro dell'affresco (4) evidenzia la parte sulla quale stava lavorando la restauratrice poco prima di effettuare la ripresa termografica. La zona azzurra della fascia basale della muratura (5) individua una zona più fredda che indica la presenza di umidità nelle murature

Thermograms frames and visible state of the west wall. One can see the panel contour (1), the edge between the two walls (2) and the door (3). Before the thermografic shot, the restorer was working on the area marked with the blue spot (4) in the middle of the fresco.
The blue band on the basis of the wall (5) shows a colder zone due to water presence in the wall



verificare la necessità di realizzare un impianto di trattamento dell'aria in grado di controllare il microclima. La campagna di misure, che ha avuto la durata di un anno per monitorare anche l'influenza delle variazioni climatiche, è stata condotta rilevando da un lato la presenza di umidità e sali nelle murature e dall'altro le variazioni nel tempo e nello spazio della temperatura ed umidità relativa dell'aria e delle temperature di superficie (queste ultime per valutare la presenza di fenomeni di condensazione superficiale). La posizione delle sonde di misura è stata scelta sulla base di una mappatura

The position of temperature probes has been decided after a series of initial measurements made with an infrared camera to identify the different temperature zones.

The convent of the Annunciata of Abbiategrasso: the measures after intervention

The convent and the church, built at the end of 1400, were restored a short time ago.
A portion of the convent has turned into dwelling house, while the frescoed rooms that faced to the little cloister will became conference halls of

4.
Abbiategrasso. Fase di iniezione del formulato per barriera chimica
Abbiategrasso. Chemical barrier injection

preliminare effettuata con un'apparecchiatura termografica.

Il controllo dopo l'intervento nel convento dell'Annunziata ad Abbiategrasso

Il convento e la chiesa annessa risalgono alla fine del 1400; gli edifici sono in mattoni e l'intero complesso è stato da poco ristrutturato. Una parte è adibita a residenza civile, mentre le sale che si affacciano sul piccolo chiostro, molte delle quali recanti affreschi della scuola lombarda, saranno utilizzate come sale per conferenze da parte dell'Università Statale. Nel caso in esame, una delle maggiori cause di degrado è rappresentata dall'acqua che dal terreno sale nelle murature. I progettisti del restauro, che ha ovviamente interessato anche la parte strutturale e gli affreschi, sono intervenuti contro l'umidità nelle murature utilizzando la tecnica della barriera chimica che consiste nel creare, ai piedi della

the Università Statale of Milan.
In order to reduce the water in walls rising damp from the floor, the walls have been isolated with a chemical barrier. This barrier consists in a waterproof layer, along the entire thickness of the wall, obtained by the injection of liquid siloxane-based products.
The problems connected with this relatively recent technology concern the conservation of building (the intervention is not reversible) and the effectiveness of the barrier (it is not possible to verify if the layer into the wall is homogeneous). In order to solve the second doubt, a series of measurements have carried out to verify the reduction of the water content of the walls. A new, simple and less destructive technique has been set up for this purpose: a lateritious cylinder (9 mm of diameter and 50 mm of length) inserted in a hole of the wall comes in thermoigrometric equilibrium with the

5.
Abbiategrasso. Inserimento della carota in laterizio per la misura delle variazioni del contenuto di umidità nelle murature
Abbiategrasso. Insertion of the lateritious cylinder to measure the humidity content variations

muratura e per l'intero spessore della stessa, una sorta di strato impermeabile all'acqua attraverso l'iniezione di formulati chimici a base di silicio che, inizialmente liquidi, una volta polimerizzati solidificano. La tecnica è relativamente recente e i dubbi che la accompagnano sono di tipo conservativo (l'iniezione all'interno della muratura di una sostanza che non può essere più eliminata è, secondo alcuni, contrario ai principi di reversibilità che un intervento di restauro sui Beni Culturali dovrebbe avere) e di ordine pratico (non esiste la possibilità di verificare che la barriera all'interno della muratura sia effettivamente continua e, quindi, efficace).
Per verificare questo secondo dubbio, è possibile valutare gli effetti della barriera sull'acqua contenuta nelle murature che, nel caso di corretta applicazione, dovrà ridursi nel tempo. Allo scopo è stata utilizzata una metodica semplice e poco invasiva che consiste nell'inserire, in un foro praticato nella muratura, una carota in laterizio (con diametro 9 mm e lunghezza 50 mm) che si porta in equilibrio termoigrometrico con la muratura una volta che il foro sia stato tappato per impedire gli scambi con l'esterno: misurando la quantità di acqua assorbita dalla carota, si ha un valore proporzionale alla corrispondente quantità di acqua presente nella muratura. Le misure sono ancora in corso e stanno comunque fornendo indicazioni positive sull'efficacia dell'intervento.

wall when the hole is plugged and could be used as water tester; the measurement of the quantity of water absorbed by the cylinder is proportional with the water in the wall.

Paolo Ciuccarelli

Il design come patrimonio culturale e documentale: strumenti e metodi per la valorizzazione

Design as a Cultural and Documentary Heritage: Management Tools and Methods

I documenti del design [1] sono riconosciuti da tempo, anche istituzionalmente, come parte integrante e importante del patrimonio culturale nazionale. Un riconoscimento che sta vivendo una decisa accelerazione verso il serio interesse, motivato anche dall'attenzione di cui gode la cultura materiale, in particolare il legame informazione-contesto che incorpora, nei discorsi sulla società e l'economia della conoscenza. Alcuni aspetti però del riconoscimento, della organizzazione, della rappresentazione e quindi della valorizzazione in forma unitaria di questa particolare porzione del patrimonio culturale sono ancora oggetto di dibattito e occasione di ricerca, con molte proposte e poche soluzioni praticate o praticabili, almeno nel contesto nazionale.

Unificazione del patrimonio culturale del design: ipotesi e nodi problematici

Primo fra gli aspetti molto dibattuti e ancora non risolti è quello dell'opportunità di raccogliere e rendere visibile in forma unitaria il design come fatto culturale e documentale attraverso la costituzione di un museo, costruendo o allestendo nuovi spazi unificanti e/o connettendo in uno spazio virtuale quelle situazioni che, in modo più o meno codificato, si manifestano già come *musealizzazione* del design. Al dibattito, ancora aperto, hanno partecipato i principali enti pubblici, locali e non, e le

Design [1] documents have long been recognized, even institutionally, as being an integral and important part of the national cultural heritage.
A recognition that is definitely accelerating in the direction of becoming a subject of serious interest, being among other things explained by the attention enjoyed by material culture, especially the information-context link that it incorporates in discussions on society and the economics of knowledge. However, some aspects of recognition, of organization, of representation and therefore of exploitation in unitary form of this particular portion of the cultural heritage are still a matter for debate and an opportunity for research, with many proposals and few solutions that are or can be put into practice, at least in a national context.

Unification and Formalization: Assumptions and Knotty Problems

The first of these much-debated aspects that have not yet been resolved is that of the advisability of collecting and rendering design visible in unitary form as a cultural and documentary fact by setting up a museum, constructing or setting up new spaces unifying and/or connecting in a virtual space those situations that, in a more or less codified manner, appear as the *museumization* of design. The main public entities, local and otherwise, and the associations and institutions that have historically operated in favour of design, with the Triennale di Milano very much to the fore, have taken part in the debate, which is still open. Among the more recent contributions has been that of the Faculty of Design, which is active on various fronts of the design-cultural assets relationship. The proposal, worked out together with ADI (Associazione per il Disegno Industriale) denies as – already affirmed in the slogan *The*

associazioni e le istituzioni che storicamente operano per il design, con la Triennale di Milano in prima linea. Tra i contributi più recenti si inserisce quello della Facoltà del Design, attiva da tempo su diversi fronti della relazione design-Beni Culturali.
La proposta, elaborata insieme ad ADI (Associazione per il Disegno Industriale), nega - già nello slogan *Il museo in rete per la rete dei musei* - l'efficacia delle forme museali tradizionali, contrapponendo ad esse il riconoscimento e la valorizzazione del Sistema Design [2]. Organizzato a rete in forma metadistrettuale [3], il Sistema Design contiene una pluralità di risorse documentali, di testimonianze, di situazioni ed occasioni che possono già costituire - se integrate - una forma di museo del design.
La soluzione al problema della unificazione del patrimonio culturale del design, secondo questa proposta, sta proprio nel dare identità a questa rete informale di giacimenti e renderla accessibile in modo unitario, agendo sui meccanismi di connessione tra i diversi nodi [4]. Il dibattito sulle possibili forme del museo del design è però solo la punta di un iceberg, che nasconde altre questioni di tipo infrastrutturale, problemi meno noti ma importanti per dare basi più solide alle proposte fatte o a quelle a venire, sia che queste puntino alla realizzazione di un museo-edificio, sia, ancora di più, che passi la logica della connessione dei giacimenti documentali già esistenti e diffusi. Alla base dei problemi di unificazione e musealizzazione dei documenti del design c'è la complessità strutturale del problema stesso, sintetizzabile in quattro fattori principali:
• la organizzazione e la valorizzazione di quel patrimonio – qualunque sia la forma - non può prescindere, ancora più che in altri casi, da un forte intreccio con le istanze che fanno da contorno o da con-

Museum on line for a network of museums – the effectiveness of traditional forms of museum, contrasting them with the recognition and valorization of the Design System : organized on line in quasi-district [2] form , the Design System [3] contains within it a plurality of documentary resources, evidence, situations and opportunities that, in a nutshell, go to make up a possible design museum. The solution, according to this proposal, lies in giving an identity to this informal network of sites and in making it accessible in unitary form by taking action on the connecting mechanisms set up between the nodes [4]. The formal unification and integration of the cultural design heritage is, however, only the tip of an iceberg that conceals other knotty problems of the infrastructural kind, less well-known but important inasmuch as they provide more solid foundations for proposals already advanced or that will be made in the future, whether these point towards the construction of a museum building, or, even more, develop the logic of the connection of documented sites that are already in existence and ramified. The problems of the unification and museumization of design documents lies in the structural complexity of the problem itself, which can be summed up, though obviously not exhaustively, in four main factors:
• The organization and exploitation of this heritage - whatever be its form - cannot preclude, any more than can other cases, a closely-knit interrelationship between the authorities forming the contour or the context of the documents collected;
• Its restoration must take into consideration the multiplicity of possible, even unforeseeable links between its components and the variety of points of view from which the heritage as a whole can be read; such multiplicity and variety are necessary for

testo ai documenti raccolti;
• la sua comunicazione deve tenere in considerazione la molteplicità delle relazioni possibili, e anche imprevedibili, tra gli elementi che lo costituiscono, e la varietà dei punti di vista attraverso i quali può essere letto il patrimonio nel suo insieme; molteplicità e varietà necessarie a salvaguardare la significatività della rappresentazione di un mondo, quello del design, fondato sulla integrazione o ricombinazione in forma nuova di competenze e risorse molto diverse e a volte molto lontane tra loro.
• la fruibilità e la comprensione del patrimonio del design dipende anche dalla capacità di organizzare e rappresentare i documenti non solo in base al loro contenuto ma anche alla loro *forma* (contenitore) e alla relazione contenuto-contenitore, che, in alcuni casi, è il principale elemento di interesse;
• molta parte dei documenti del patrimonio culturale del design, soprattutto nell'ambito del design della comunicazione, nascono e vivono in forma esclusivamente digitale.
Le conseguenze tecniche più dirette di questi fattori di complessità sono da una parte una grande quantità e un alto livello di eterogeneità (di tipi, di formati, di modalità di descrizione e di accesso) degli elementi che costituiscono il patrimonio documentale; dall'altra l'esigenza, soprattutto nel caso di giacimenti distinti ed autonomi da connettere in rete, di elementi di unificazione e standardizzazione, in primo luogo terminologici e di linguaggio, che garantiscano la consistenza e l'accesso integrato al patrimonio complessivo.

Infrastrutture e strumenti per l'unificazione e la valorizzazione: il progetto DesignNet e i laboratori della POLIteca

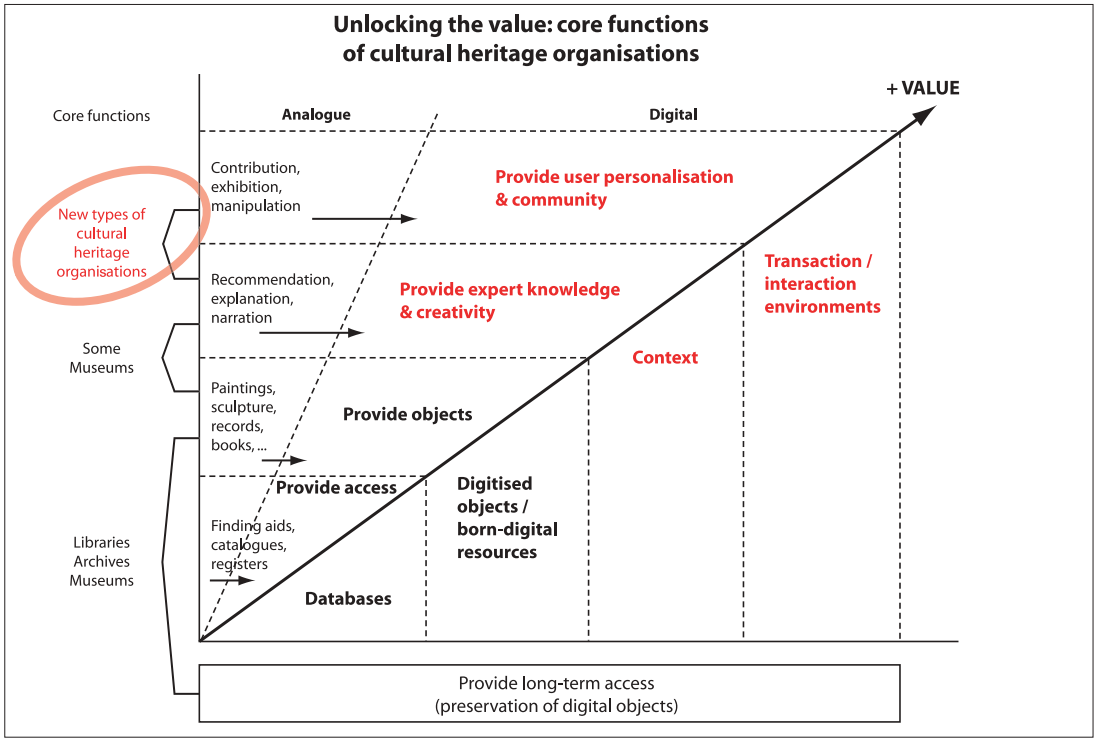
Dal riconoscimento di queste problematiche, e da

safeguarding the significance and representation of a world – that of design – based on the integration or reconstitution in a new form of widely differing competences and resources that may at times be very far apart.
• The exploitability and comprehension of the design heritage also depend on the ability to organize and represent the documents, not only on the basis of their content but also of their *form* (container) and on the content-container relationship that, in some cases, is the most interesting factor;
A large part of the documents relating to design within the cultural heritage, especially in the area of communication design, came to light and live on in exclusively digital form.
The most direct technical consequences of these complexity factors are, on the one hand, a large amount and a high level of heterogeneity (the types, formats, and methods of description and access) of the elements that go make up the documentary heritage; and, on the other, especially in the case of distinct and autonomous sites to be connected up on line , the need for and absence of unifying and standardizing components - firstly terminological and secondly linguistic – that guarantee the consistency of and integrated access to the whole heritage.

Infrastructures and Instruments: the DesignNet Project and the POLIteca Laboratories

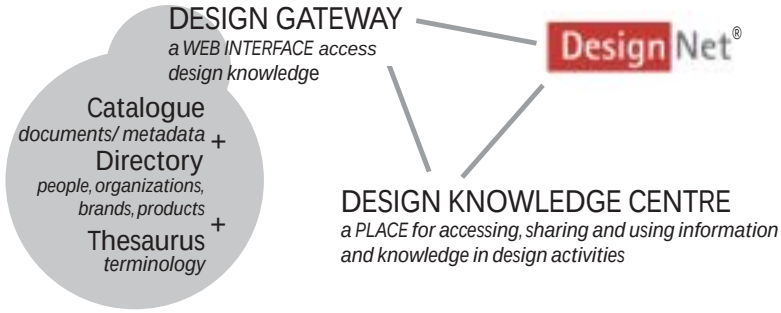
From the recognition of these problems and from a more general will to explore the potentialities of the network environments and technologies in order to develop the Design System, there stems the framework-pro-ject/ DesignNet research laboratory [5], which operates by defining instruments and methods for the processing of information and knowledge in support of the design processes,

1.
Funzioni primarie delle organizzazioni culturali. Fonte: rielaborazione da Salzburg Research, 2001
Primary functions of the cultural organizations. Source: re-processed by Salzburg Research, 2001



una più generale volontà di esplorare le potenzialità degli ambienti e delle tecnologie di rete per lo sviluppo del Sistema Design, nasce il progetto-quadro/laboratorio di ricerca DesignNet [5], che opera nella definizione di strumenti e metodi per la gestione di informazioni e conoscenza a supporto dei processi del design, in particolare per la organizzazione e la fruizione di knowledge-base, archivi di documenti, dati e informazioni. Nell'ambito di questo progetto, con un occhio puntato agli scenari più innovativi nell'evoluzione delle organizzazioni culturali [6], è stato sviluppato un sistema integrato

especially for the organization and exploitation of the knowledge-base, documentary records, data and information.
Within the framework of this project, with an eye to the most innovative scenarios in the evolution of cultural organizations [6], an integrated system of web-based instruments has been developed for the organization, management, representation and the handling of document and metadata network environments [Figure 1]. The system consists of independent modules, some of which are still in the process of being developed, that expand their



2.
Schema del sistema
System layout

di strumenti web-based per la organizzazione, la gestione, la rappresentazione e la manipolazione di documenti metadati in ambienti di rete [Figura 1]. Il sistema si compone di moduli indipendenti, alcuni dei quali ancora in fase di sviluppo, che amplificano la loro efficacia nell'integrazione reciproca:

• un thesaurus (Design Thesaurus), conforme agli standard internazionali ISO 2788 e 5963, che può costituirsi, coerentemente con gli obiettivi originari di questo strumento, come momento di mediazione e creazione di consenso all'interno della comunità del design, e funzionare anche come chiave di accesso alle risorse analogiche e digitali organizzate in un archivio;

• una directory (Design Directory) contenente le informazioni relative ai principali attori del Sistema Design, organizzati in quattro categorie principali - persone, organizzazioni, marchi (brands) e locations;

• un catalogo digitale (Design Catalogue) per l'archiviazione di documenti eterogenei [7], costruito secondo le specifiche dello standard internazionale Dublin Core e progettato per integrare le informazioni contenute nel thesaurus e nella directory del design;

• un Quality-controlled Subject Gateway (Design Gateway), che integra i moduli precedenti e si propone come portale per l'accesso unico e integrato alle informazioni e ai documenti, indipendentemente dalla loro forma (analogica o digitale) e dalla collocazione;

• un modello di interfacciamento fisico al patrimonio integrato (Design Knowledge Centre), che non solo abilita la consultazione delle informazioni, dei documenti e delle conoscenze, ma favorisce la loro condivisione, la ricombinazione e mani-

effectiveness with reciprocal integration, as follows:

• Design Thesaurus, in accordance with ISO 2788 and 5963 international standards, which can be formed consistently with the original objectives of this instrument, as the moment of mediation and creation of agreement within the design community and operate as a key giving access to analogue and digital resources organized in a file;

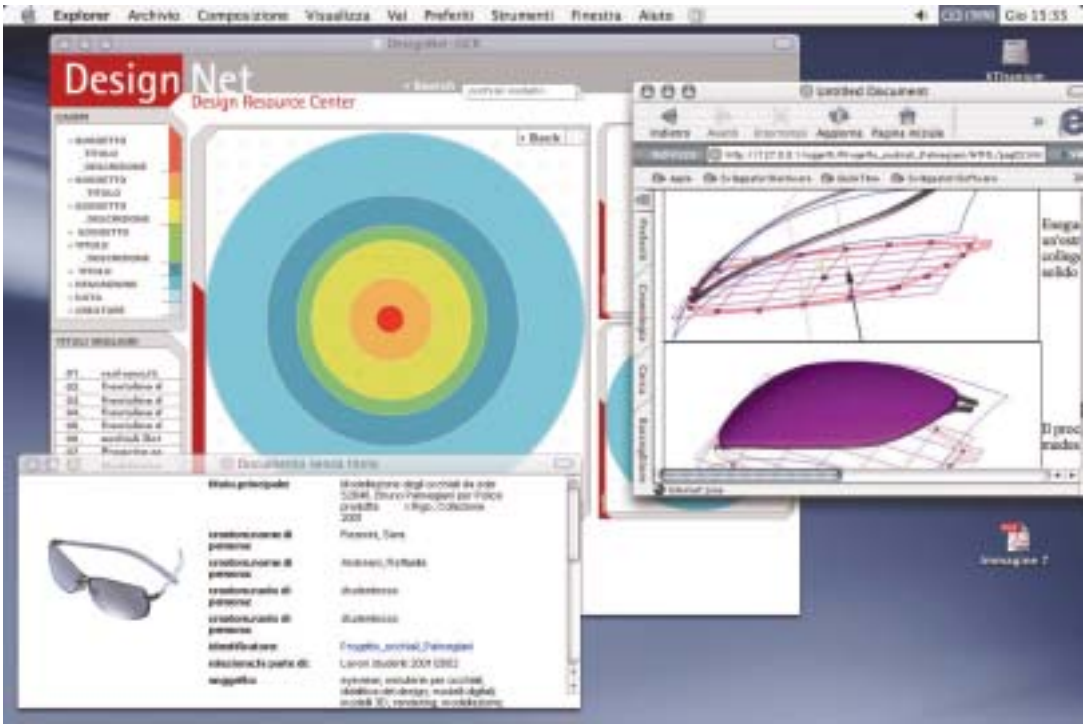
• A Design Directory containing information relating to the main players in the Design System, organized in three main categories: persons, organizations, brands;

• A Design Catalogue for filing heterogeneous documents [7], constructed according to the specifications of the Dublin Core international standard and designed to integrate the information contained in the Thesaurus and the Design Directory;

• A quality-controlled Design Gateway integrating the aforesaid modules and presented as a portal for unique and integrated access to the information and documents, irrespective of their form (analogue or digital) and of their physical positioning;

• A physical model interfacing with the integrated heritage (Design Knowledge Centre) that not only makes possible to consult information, documents, and knowledge, but also to sub-divide them, rearrange them and handle them, and create new resources to be reintegrated in the system, suggesting also possible connections between the different information and document basins, within and outside the original site boundaries [Figures 2, 3]. These instruments are currently used by Politeca: a meta-laboratory, a laboratory of laboratories, in which experiments are carried out, in accordance with the Design Knowledge Centre model, on the management and integrated exploitation of the files belonging to the project [8]. The aim in this case is

3.
Schermate del primo prototipo del Design Gateway
Screens of first Design Gateway prototype



polazione, e la creazione di nuove risorse da reintegrare nel sistema, suggerendo anche possibili collegamenti tra i diversi bacini di informazioni e documenti, dentro e fuori i confini del giacimento originale [Figure 2 e 3]. Questi strumenti sono attualmente utilizzati da Politeca: un meta-laboratorio, laboratorio di laboratori, nel quale si sperimentano, secondo il modello del Design Knowledge Centre, la gestione e la fruizione integrata degli archivi che aderiscono al progetto [8]. L'obiettivo, in questo caso, è quello di organizzare e integrare il

to organize and integrate the documentary inheritage available and to make it usable as a *cognitive semi-finished product* for the generation of new knowledge, above all in the teaching projects of the Design Faculty. POLIteca's integrated heritage comprises an extensive and heterogeneous combination of documents, which makes it a good testbed for evaluating the effectiveness of the instruments developed, especially for managing the heterogeneity forming the basis of any project in order to make full use of the design cultural heritage,

4. e 5.
Studenti all'interno della POLIteca
Students at POLIteca

patrimonio documentale disponibile e renderlo utilizzabile come *semilavorato cognitivo* per la generazione di nuova conoscenza, nella didattica progettuale delle Facoltà del Politecnico. Il patrimonio integrato nella POLIteca comprende un insieme di documenti ampio ed eterogeneo, che ne fa un buon banco di prova per valutare l'efficacia degli strumenti sviluppati, in particolare nella gestione della eterogeneità che è alla base di qualsiasi progetto di valorizzazione del patrimonio culturale del design, indipendentemente dalla sua forma. [Figure 4 e 5]. In virtù delle ricerche condotte e dei risultati ottenuti, il dipartimento INDACO ha partecipato alla proposta dell'azione di coordinamento *InDream Design: Innovative Databank for Real/Virtual European Design Museum* [9] nell'ambito del programma *Information Society Technology* della Comunità Europea; è in fase di chiusura una convenzione tra dipartimento e Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD - Ministero per i Beni e le Attività Culturali), con l'obiettivo di rispondere alla carenza, a livello nazionale, di un quadro di riferimento per i criteri da utilizzare nella catalogazione, gestione e indicizzazione digitale dei giacimenti documentali del design.

irrespective of its form [Figures 4 and 5].
By virtue of the research conducted and results obtained, the INDACO Department has taken part in the proposed co-ordination programme *InDream Design: Innovative Databank for Real/Virtual European Design Museum* within the "Information Society Technology" programme of the European Union; an agreement is about to be reached between the Department and the Central Catalogue and Documentation Institute (ICCD – Ministry of Cultural Heritage), the objective being to make good the nationwide lack of a comprehensive picture to which to refer, giving the criteria to be applied in cataloguing, management, and digital indexing of design documentary sites.

NOTE

[1] In accordo con la normativa ISO 5963, per documento si intende "any analogue or digital unit which can be catalogued and/or indexed", ivi compresi oggetti, semilavorati e componenti
[2] Le definizioni *Sistema Design Milano* e *Sistema Design Italia* nascono nella ricerca co-finanziata MIUR *Sistema Design Italia* condotta nel biennio 1999-2000, che riconosce e rappresenta la fitta rete di interconnessioni tra i sistemi produttivi locali e i sistemi dei servizi, della comunicazione, degli scambi economici e culturali attivi nel tessuto urbano (www.sistemadesignitalia.it)
[3] Attraverso le deliberazioni della giunta del 16/3/2001 e del 5/10/2001, la Regione Lombardia ha riconosciuto e definito all'interno del proprio territorio un *metadistretto del design*
[4] Per un approfondimento: Moretti, D., Pallabazzer, J.A., Rebaglio, A., *MDM. Museo Design Milano. Il Museo in rete per la rete dei musei*, Edizioni POLIdesign, Milano 2001
[5] Fanno parte del gruppo di ricerca Mida Boghetich, Paolo Ciuccarelli, Luca Cosmai, Perla Innocenti, Federico Vidari. Lo stato di avanzamento del progetto e i risultati ottenuti sono visibili all'indirizzo www.designnet.polimi.it
[6] Salzburg Research, The DIGICULT Report. Technological landscapes for tomorrow's cultural economy. Unlocking the value of cultural heritage, European Commission – DG Information Society, 2001
[7] Il catalogo è progettato per dialogare con le principali tipologie di documenti analogici e digitali, inclusi i prodotti, i semilavorati e i componenti, le immagini statiche e dinamiche (animazioni 2D e 3D), modelli 3D, video, file audio ecc.
[8] La POLIteca integra attualmente gli archivi dei laboratori MAST (Merceologia e Analisi Settoriale) e Sistemi e Componenti per l'Edilizia del dipartimeno INDACO e del laboratorio Materiali e Design del dipartimento chimica, Materiali e Ingegneria Chimica *Giulio Natta*
[9] La proposta è stata formulata da: CLAC, Cantù; Triennale, Milano; Politecnico di Milano, Milano; Design Museum, London; Centre Pompidou, Paris; Vitra Design Museum, Weil An Rheim; Design Museum, Helsinki; Museum of Decorative Arts and Design, Oslo; Centro Cultural de Belem, Lisbon

NOTES

[1] According to the ISO 5963 regulations, *document* is intended to mean "any analogue or digital unit which can be catalogued and/or indexed", including objects, semifinished products, and components
[2] The definitions *Sistema Design Milano* and *Sistema Design Italia* originate from the MIUR co-financed research on *Sistema Design Italia* conducted during the two-year period 1999-2000, which recognizes and represents the densely-woven network of interconnections between local productive systems and the service, communication, trading and cultural exchanges present within the urban fabric www.sistemadesignitalia.it)
[3] Through the decisions taken on 16/3/2001 and 5/10/2001, the Council of the Lombardy Region recognized and defined, within its territory, an *evolving design district*
[4] Further details can be had from: Moretti, D., Pallabazzer, J.A., Rebaglio, A., *MDM. Museo Design Milano. The museum on line for the museum network*, Edizioni POLIdesign, Milano 2001
[5] Mida Boghetich, Paolo Ciuccarelli, Luca Cosmai, Perla Innocenti, Federico Vidari are members of the research group. The progress achieved by the project and the results obtained are visible on www.designnet.polimi.it
[6] Salzburg Research, The DIGICULT Report. Technological landscapes for tomorrow's cultural economy. Unlocking the value of the cultural heritage, European Commission – DG Information Society, 2001
[7] The catalogue is designed to dialogue with the main typologies and analogue and digital documents, including the products, the semi-finished products, and the components, the static and dynamic images (2D and 3D animations), 3D models, videos, audio files, etc.
[8] POLIteca at present integrates the files of the MAST (Product Segments and Sector Analysis) laboratories and Systems and Components for Building Construction at the INDACO Department and the *Giulio Natta* Chemistry, Materials and Chemical Engineering Department
[9] The proposal was advanced by: CLAC, Cantù; Triennale, Milan; Politecnico di Milano, Milan; Design Museum, London; Centre Pompidou, Paris; Vitra Design Museum, Weil am Rhein; Design Museum, Helsinki; Museum of Decorative Arts and Design, Oslo; Centro Cultural de Belem, Lisbon

Corrado Maria Crisciani
Marco Gaiani
Perla Innocenti

Dal Palladio analogico al Palladio digitale: una metodologia progettuale

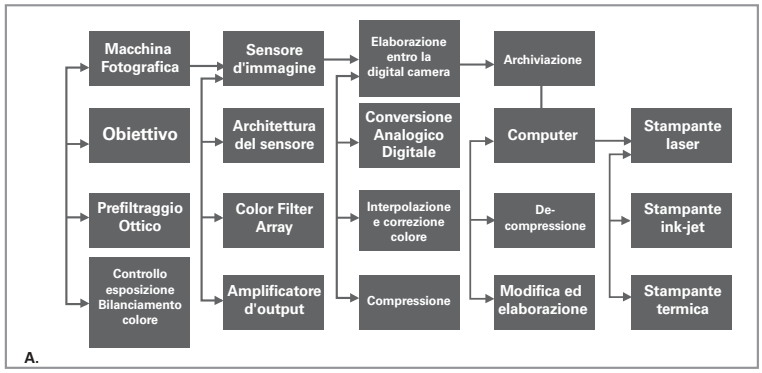
From analog to digital Palladio: a project methodology

Tra il 2001 e il 2003 il Dipartimento di Industrial Design, delle Arti, della Comunicazione e della Moda (INDACO) del Politecnico di Milano ha collaborato al progetto *Palladio Digitale* del Centro Internazionale di Studi di Architettura (CISA) Andrea Palladio, cui hanno partecipato anche l'Archivio di Stato, la Biblioteca Bertoliana e il Museo Civico di Vicenza. Obiettivo del progetto [1], finanziato integralmente dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali, è stata la raccolta, valorizzazione e fruibilità dell'insieme delle fonti visive che documentano l'attività di Andrea Palladio (fotografie, disegni, incisioni, rilievi, mappe, carte d'archivio), attraverso metodologie e strumenti informatizzati. Oltre 33.000 documenti sono stati digitalizzati e archiviati presso il Centro, costituendo la base per futuri progetti editoriali, formativi, espositivi e di ricerca.
La collaborazione ha riguardato la definizione delle metodologie da adottare nella fase di acquisizione, la loro messa in funzione e il coordinamento operativo dell'attività, che si è svolta interamente presso varie strutture vicentine in cui erano conservati i beni da digitalizzare. Il tema chiave del lavoro di ricerca era quello – ormai pressante – della formazione di un archivio digitale di immagini speculare al sistema reale e la cui trasposizione potesse essere realizzata a bassi costi e con personale non specializzato (tipicamente storici dell'architettura, archivisti, ecc.).

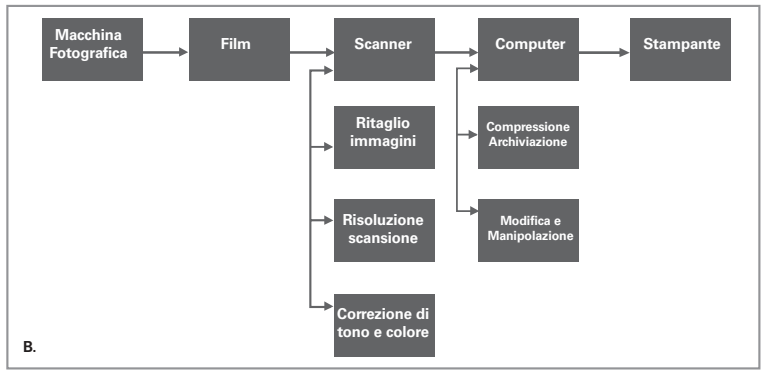
Between 2001 and 2003 the Department of Industrial Design, Arts, Communication and Fashion (INDACO) of Politecnico di Milano has joined the project *Digital Palladio* of the International Centre of Architectural Studies (CISA) Andrea Palladio of Vicenza, Italy, entirely financed by the Italian Ministry of Cultural Heritage. The Vicenza State Archive, Bertoliana Library and Civic Museum were also involved.
Goal of the project was the gathering, enhancement and accessibility of the whole of visual items (photographs, drawings, engravings, surveys, maps, archival materials) documenting the activity of the architect Andrea Palladio, using digital methodologies and tools. More than 33.000 items have been digitized and stored in the CISA, as a data base for future publishing, educational, exhibition and research activities.
INDACO's collaboration regarded the definition of methodologies for the digitization phase, their application and the operative activities coordination, entirely performed by a number of Vicenza institutions holding the documents to be digitized. The challenging research key-point has been the formation of a digital visual archive, specular to the real-world system, digitizable at low cost and by unqualified operators (typically architecture historians, archivists etc). Indeed, this is an extremely complex issue, also because of the document wide metric and typological variety and graphic quality: from the N*apoleonic map of Vicenza* (1816) and Palladio's own hand *Antiquities* drawings, to modern surveys of the Olympic Theatre and photos of Villa Thiene shot in the last forty years, land registers and XVIII century books.
Since the formation of the very first drawings collections for scholarly and professional purposes, the problem of creating architecture archives has

1.

a. Flusso di creazione ed elaborazione di acquisizione delle immagini di giacimenti documentali seguendo un percorso interamente digitale;
a. Digital Still Imaging Chain



b. Flusso di creazione ed elaborazione di acquisizione delle immagini di giacimenti documentali seguendo un percorso ibrido
b. Hybrid Imaging Chain [1]



Si tratta di un problema estremamente complesso anche per la varietà dimensionale, formale, e di qualità grafica dei documenti da riprodurre: nel caso del CISA i documenti variavano dalla *Mappa Napoleonica della città di Vicenza* del 1816 ai disegni autografi delle *Antichità* di Palladio, dai rilievi moderni del Teatro Olimpico di Vicenza alle fotografie di Villa Thiene eseguite negli ultimi quarant'anni, dai catasti alle edizioni a stampa del XVIII secolo.
Fin dalla formazione delle prime raccolte di disegni con finalità conoscitive e professionali, il problema

always been a primary concern within this field. Given the impossibility of having the architectural object itself - unlike other visual arts - , in order to be communicated and studied architecture must necessarily be represented. But for architecture documents to be reused, architecture archives (composed by drawings from life or tracings and sketches collections) present specific features: it's almost impossible to identically copy the final object being produced, and replicas are made on discrete basis and needs/allows some kind of re-interpretation. They therefore are documental

2.
Andrea Palladio, Antichità: fronte e profilo di due sarcofagi, catalogo D8r, Muso Civico di Vicenza, dimensioni reali del disegno intero mm. 443x297 [2]

Andrea Palladio, Antichità: fronte e profilo di due sarcofagi, catalog D8r, City Museum of Vicenza, Italy. Life-size dimensions of the entire drawing 443x297 mm [2]

della costituzione degli archivi d'architettura è sempre stato un tema centrale della questione del progetto e dello studio di questa disciplina.
Questo tanto più perché, nell'impossibilità di disporre dell'oggetto in sé, a differenza delle altre arti figurative, l'architettura, sia per essere comunicata che per essere studiata, deve essere necessariamente rappresentata. Ciò che contraddistingue gli archivi di architettura - da secoli raccolte di disegni e di schizzi ottenuti disegnando dal vero oppure ricalcando disegni già esistenti - da un punto di vista della trasmissione del documento ai fini del suo riutilizzo, è la condizione di semi-impossibilità di copia identica dell'oggetto finale realizzato e la replica su basi discrete, che necessita/permette una (re)interpretazione. Si tratta quindi di sistemi documentali tipologicamente, mono e bidimensionalmente, di problematica conservazione e fruizione e dalla base filologica estremamente fragile, di cui è però necessario sia fissare la dimensione interpretativa, in quanto nuova testimonianza originale sul sistema documentale stesso, che mantenere i frequenti collegamenti con altre forme documentali complementari.
La formazione di un archivio digitale d'architettura oggi è quindi al tempo stesso un tema e una problematica che muove dalla necessità di fornire una proposta di soluzione ai tipici problemi che l'archiviazione fisica, per limiti intrinseci, non è riuscita a risolvere. D'altronde, il terzo millennio porta con sé una nuova rivoluzione per l'utente dell'informatica: il grado d'elaborazione odierno del Personal Computer e l'introduzione del concetto di visual computing stanno velocemente conducendo verso la possibilità di realizzare, non solo operazioni di ricodifica di documenti fisici in documenti digitali, ma una loro trascrizione in forma integrale unita ad un loro facile collegamento reciproco, alla possi-

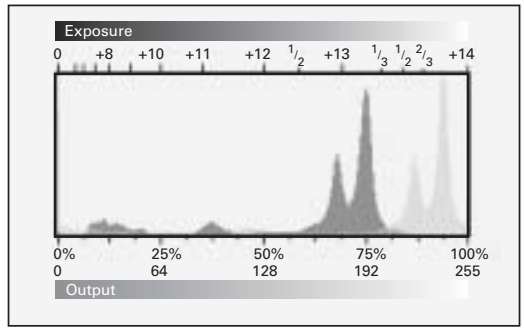
systems with an extremely frail philological basis, nevertheless requiring both the interpretative dimension to be defined and the frequent relationships with other complementary document collections to be preserved.
Hence today the formation of an architecture archive is at the same time a research field and a challenge, moving from the need to give a solution to typical problems unsolved by physical storage because of inherent limitations. On the other hand, the new millennium brings a further revolution for computer users. Current processing level of PCs

3.

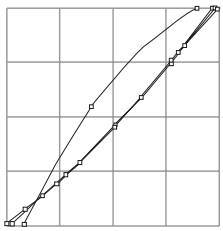
a. Catasto Austriaco – San Vito e Santa Lucia, Recinto Esterno Vicenza, serie Romana foglio III, originale della campagna del 1812, aprile 1829; b. livelli di file; c. profilo; d. risposta colore del file grezzo [3]

a. Catasto Austriaco – San Vito e Santa Lucia, Recinto Esterno Vicenza, Roman series, folio III (1812-1829); b. histogram; c. profile; d. raw file color coordinates [3]

a



b



c

	R	*G*	*B*
W	251	255	252
R	213	34	33
G	0	141	41
B	42	25	123
K	26	23	28
M	107	104	108

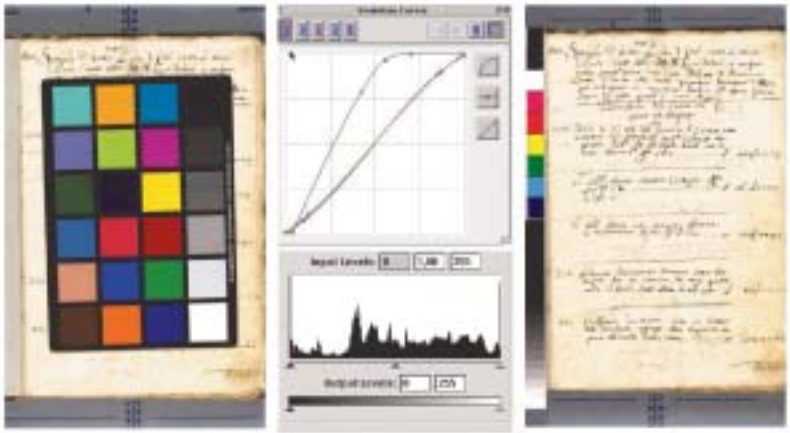
d

bilità di creazione di relazioni tra ambiti distinti, alla facilità di accostamento e all'accesso unificato e integrato di tipologie eterogenee.
Per la costituzione di un archivio digitale e della sua fruizione, gli elementi che contraddistinguono i trend tecnologici e consentono di concepire uno scenario completamente nuovo, capace di dischiudere all'archiviazione e all'information retrieval delle informazioni dimensioni prima sconosciute, sono sinteticamente riassumibili in alcuni aspetti cruciali: sostituzione del desktop fisico con un desktop digitale unificante, capace di metodi più

and the introduction of the visual computing concept are rapidly leading towards the possibility of not just analog-to-digital re-encoding, but also the fully documents transcription in a integrated modality, along with easy reciprocal connection, possibility to create relations among diverse domains, easy and unified access to varied documents. In order to create and make accessible a digital archive, current technological trends define a completely new scenario, allowing previously unknown dimensions to storage and information retrieval: replacement of physical desktop with

4.
Effetto dell'applicazione di profili di colore tramite curve sull'immagine [4]

Resulting effects from the application of color profiles on the image [4]



potenti e di accesso più immediato e a basso costo anche dagli esperti della singola disciplina; formati digitali sempre più standardizzati; documenti eterogenei, ipermediali, animazione 2D e 3D semplicemente visualizzabili con un Web browser; possibilità della parallelizzazione dei processi con modalità multitask e del multiuser; costo delle memorie di massa sempre più ridotto, rendendo accessibile a basso costo operazioni ad alto dispendio di memoria per l'archiviazione e la manipolazione; infine, grazie a standard di trasporto dati, prestazioni dei network e laptop portatili che per la prima volta possono sostituire in tutto i PC da tavolo, la possibilità di collaborare anytime everywhere con l'intera comunità scientifica.
Se questo è lo scenario che definisce tematiche e condizioni dell'operare digitale, per trasferire informazioni analogiche in un sistema digitale e poi organizzarle, archiviarle, strutturarle e renderle accessibili in rete, i cinque problemi chiave sono sostanzialmente: la qualità della trasposizione dell'informazione analogica in digitale (tipicamente

digital unifying desktop, featuring more powerful methods, easiness of access for unqualified operators and low costs; increasingly more standardized digital formats; heterogeneous documents, hypermedia, 2D and 3D animations viewable on a Web browser; possibility of process parallelization with multi-task and multi-user modalities; progressive decrease of mass storage cost, allowing highly consuming operations of storage and manipulation; data transport standards, high network performance and laptops as much powerful as desktop computers allowing users to collaborate anytime anywhere with the global scientific community.
In such digital methodological and operative scenario, there are in short five main issues in the digital acquisition, storage, organization and access of documents in networked environments: document transposition quality from analog to digital (for images typically represented by parameters such as resolution, colour fidelity, details precision, consistency of procedure throughout all the phases from acquisition to monitor display); definition of

5.
Verifica di corrispondenza tra valori RGB W K forniti dal target Gretag Macbeth Color Checker e il target Gretag Macbeth Q13:
immagine bilanciata sui colori della Gretag utilizzata per costruire la tabella delle corrispondenze [5]

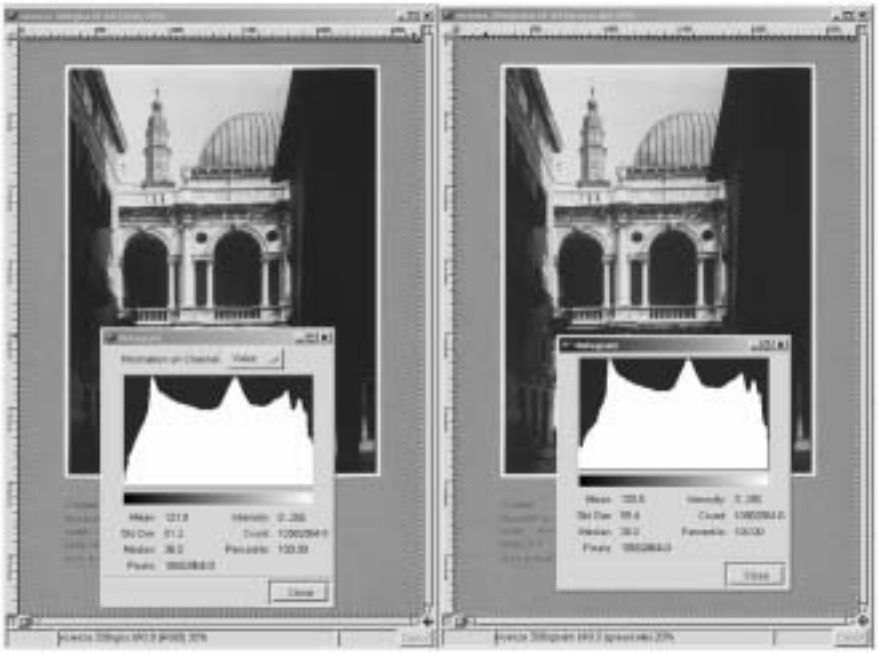
Correspondence testing between RGB W K values provided by Gretag Macbeth Color Checker target and Gretag Macbeth Q13 target: image balanced upon colors of Gretag target [5]

per un'immagine esplicitabile in parametri come risoluzione, fedeltà del colore, capacità di cogliere le sfumature, consistenza della procedura attraverso tutte le sue fasi, dall'acquisizione alla visualizzazione a schermo fino alla stampa); la definizione degli standard di documentazione in un ambiente informativo integrato; la predisposizione degli standard tecnici per la lunga durata e l'interoperabilità; la risoluzione delle problematiche relative all'accesso e alla sicurezza in ambienti di rete; la conservazione dell'informazione contro l'obsolescenza tecnologica.
Il lavoro da noi eseguito si è proposto lo scopo di operare entro questo quadro, per cercare di definire una metodologia di base relativa al primo dei cinque punti fissati, ovvero al supporto della digitalizzazione di una serie di elementi che rappresentano la parte più cospicua del *corpus* dei materiali che compongono il sistema documentale di base sulle opere di Andrea Palladio. Il lavoro riguarda quindi solo la prima delle sopracitate problematiche, inquadrata tuttavia nella prospettiva unificante del necessario soddisfacimento delle successive quattro.
Il progetto in questione ha portato alla digitalizzazione di sei sottosistemi documentali di varie tipologie e dimensioni, conservati in sedi diverse: fotografie, disegni autografi di Andrea Palladio, rilievi moderni delle fabbriche palladiane, documenti d'archivio, mappe antiche di interesse palladiano, edizioni a stampa del XVI, XVII e XVIII secolo.
L'ipotesi di lavoro da noi formulata, che ci pare anche l'unica possibile per questa tipologia di archivi, è stata quella della ricomposizione in forma digitale in quanto trascrizione, calco, copia fedele, piuttosto che interpretazione o simbolizzazione: approccio che offre la possibilità di fruizione del documento digitale con tutti i suoi attributi cromatici, grafici, dimensionali. Si tratta di un problema concettualmente semplice - la replica di un oggetto

document standards in a integrated information environment; arrangement of technical standards for long time preservation and interoperability; solution of access and security issues in networked environments; information preservation against technological obsolescence.
Our work aimed to operate within this framework, in order to define a basic methodology regarding the first of the above five issues, namely to support the digitization of the most relevant items of the whole of materials representing the documental system on the Andrea Palladio works. The Digital

6.
Valutazione del tipo di riproduzione: a. istogramma immagine a colore; b. istogramma immagine a scala di grigio [6]

Evaluation of different types of reproduction: a. color image histogram; b. grayscale image histogram [6]

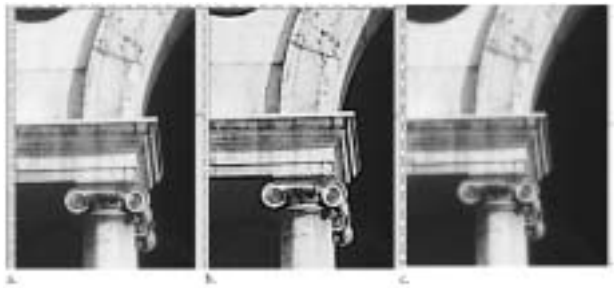


fedelmente a se stesso - che fruisce di una tecnologia ormai in equilibrio maturo saturo per la tipologia di lavoro in oggetto, ad un livello ormai definibile come semi-professionale o professionale e non più di laboratorio di ricerca, con conseguente semplificazione delle procedure e loro ripetizione.
La tecnologia necessaria per realizzare un'operazione di digitalizzazione su vasta scala consiste principalmente in hardware, software e reti, ma anche nella definizione di protocolli e standard, politiche e procedure (come workflow, manutenzione, sicurezza, upgrade). Azioni correlate e considerazioni

Palladio project resulted in the digitization of six dimensionally and typologically different documental subsystems: photographs, Palladio's own hand drawings, modern surveys, archival documents, ancient maps, printed XVI, XVII and XVIII centuries books.
The working hypothesis that we formulated – which also seems the only one possible for such typology of archives to us –, has been to reassembly documents in digital form as transcription, mould, true copy rather than interpretation or symbolization. Such approach makes possible to

7.
Prova di scansione con Screen Cezanne Elite, ingrandimento 20:1; a. 300 dpi; b. 600 dpi; c. 1200 dpi [7]

Test scanning with Screen Cezanne Elite, zooming 20:1; a. 300 dpi; b. 600 dpi; c. 1200 dpi [7]



che influenzano le infrastrutture tecniche includono la determinazione dei requisiti di qualità basati sugli attributi dei documenti (digital benchmarking tramite definizione dei requisiti, misurazione, valori di tolleranza, verifica); la definizione di tempi e budget (management); l'individuazione delle necessità degli utenti (presentazione); la valutazione dei piani a lungo termine (conservazione).
In *Palladio Digitale* i fondamentali passaggi nella progettazione di ogni operazione di acquisizione hanno riguardato la definizione delle finalità d'uso dell'immagine, al fine di determinare le caratteristiche minime di risoluzione, profondità del colore, formato grafico; del flusso di lavoro e delle modalità per mantenere la consistenza delle caratteristiche dall'originale fino alla visualizzazione da parte dell'utente finale; delle modalità di mantenimento dei diritti di riproduzione, tramite tecniche di watermarking; infine delle modalità di realizzazione del controllo di qualità del sistema.
Una fondamentale condizione di partenza è stata quella del mantenimento dei costi entro budget tali da rendere l'operazione possibile non soltanto per progetti che possono beneficiare di un finanziamento specifico ma anche nell'ambito della gestio-

benefit of a digital document with its complete chromatic, graphic and metric attributes. It's a conceptually easy problem – the replica of an object true to the object itself – which today can exploit a fully matured technology for this kind of projects, no longer confined to research labs but almost semi-professional or professional, with a subsequent procedural simplification and repeatability. The required technology to carry out a large scale digitization project mainly consists of hardware, software and networks, but also of defined protocols, standards, policies and procedures (such as workflow, maintenance, security, upgrade). Related actions and concerns affecting technical infrastructures include: determination of quality requisites based upon documents attributes (digital benchmarking through requisite definition, measurements, tolerance values, testing); time planning and budgeting (management); identification of user's needs (displaying); evaluation of long-term storage (preservation). In the *Digital Palladio* project the key steps in designing every acquisition operation regarded: definition of targeted use of images, in order to determine essential resolution, colour depth and graphic format characteristics; definition

ne corrente, tramite l'impiego di personale non specializzato. Tale approccio è stato reso possibile grazie all'impiego di un team di specialisti che hanno prioritariamente definito non solo specifiche tecniche, ma anche strumenti, metodologie e tecniche operative di base per ogni singola tipologia di materiale digitalizzato. Questi dati sono stati trascritti in una sorta di manuale d'uso che è stato utilizzato come base operativa da parte degli operatori. Infine, lo stesso team che ha definito le specifiche ha provveduto ad effettuare il controllo di qualità. Una seconda condizione è stata quella della definizione di standard riferiti al materiale originale, e non autoreferenziali al sistema digitale o all'output previsto. Con un approccio indifferente all'uso, ogni immagine è stata digitalizzata un'unica volta al più alto livello di qualità disponibile, con attenzione a standard come il colore e i livelli di contrasto, così da poterla utilizzare per applicazioni multiple. Una terza condizione è stata quella dell'utilizzo di tecnologie interamente commerciali su cui si sono realizzate operazioni di personalizzazione del tutto marginali, mentre si è invece privilegiata la qualità di base di ogni strumento utilizzato, scegliendo di solito la qualità migliore all'interno della gamma prefissata attraverso un benchmarking delle caratteristiche dei prodotti disponibili. Il digital benchmarking è stato anche utilizzato per la definizione dei requisiti, degli standard e delle metodologie di lavoro.
Ampio spazio è poi stato dato allo studio e alla verifica dei sistemi di archiviazione più opportuni da utilizzare immediatamente dopo l'acquisizione, perché essi certamente rappresentano un fattore fondamentale nella definizione dei tempi lavorativi. Infine, l'atteggiamento complessivo adottato è stato volutamente e sempre quello di affrontare ogni

of workflow and how to preserve consistency of the original features, from acquisition to display on final user's monitor; preserving reproduction rights through watermarking techniques; finally, definition of how to perform the system quality control. A crucial starting condition has been to keep costs within a reasonable budget, picturing both projects with extra fundings and with own current management resources, using unqualified operators.
Such approach has been possible through the employment of an experts task force, which first of all defined not just specific techniques but also tools, methodologies and basic operating techniques for every single typology of digitized material. This data have been transcribed into a kind of operating manual, which has been used as working basis by the operators. Finally, the same task force has defined the project specifications and performed the quality testings. A second condition has been the definition of standards for the original documents, such as not to be auto-referential to the digital system or to the envisioned output. With this use-independent approach, every image has been digitized only once with the highest possible quality level available, giving attention to standards such as colour and contrast levels in order to re-use it for multiple applications. A third condition regarded the use of entirely commercial technologies: we performed an insignificant customization but preferred the basic quality of every adopted device, generally choosing the highest quality within a predefined selection obtained from a benchmarking of current products available on the market. Digital benchmarking has also been adopted to define requisites, standards and working methodologies. Wide space has been then given to the study and testing of the most appro-

problema progettualmente, per cercare di costruire un archivio digitale in grado di offrire almeno le stesse qualità sedimentarie, di capacità di integrazione di materiali differenti e diffusi e di capacità di restituzione dell'informazione che ci forniscono i migliori esempi di archivi di architettura fisici, ma che nel contempo presenti tutti i plusvalori tipici dei sistemi digitali.

priate storage systems to be used immediately after the acquisition, as these surely represent a fundamental factor in planning working timetables. Finally, the overall intentionally and constantly adopted approach has been to undertake every problem with a projectual attitude. Our goal has been trying to build a digital archive at least capable of offering the same sedimentary qualities, capacities of integrating different and dispersed materials and of representing information of the best example of analog archives, but also presenting all the typical digital system plusvalues.

NOTE

Per le immagini [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] la fonte è:
Una metodologia per l'acquisizione e la restituzione dei giacimenti documentali dell'architettura. I materiali per lo studio di Andrea Palladio, a cura di G. Beltramini e M. Gaiani, con testi di S. Baldissini, G. Beltramini, C.M. Crisciani, M. Gaiani, P. Innocenti, G. Marcadella, E. Michelato, Edizioni POLI.design, Milano 2003)

NOTES

The source for images [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] is:
S. Baldissini, G. Beltramini, C.M. Crisciani, M. Gaiani, P. Innocenti, G. Marcadella, E. Michelato, Una metodologia per l'acquisizione e la restituzione dei giacimenti documentali dell'architettura. I materiali per lo studio di Andrea Palladio, G. Beltramini and M. Gaiani (eds.), Edizioni POLI.design, Milan 2003)

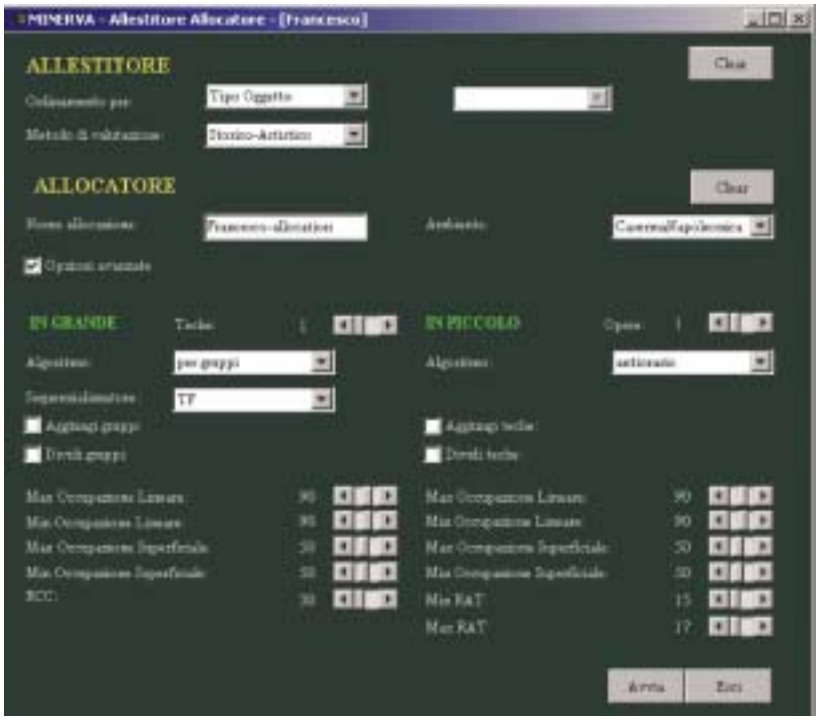
Francesco Amigoni
Viola Schiaffonati

L'intelligenza artificiale per l'allestimento automatico dei musei

Artificial Intelligence for Automatic Museum Organization

L'analisi e l'utilizzo di strumenti computazionali per il miglioramento della fruizione di contenuti culturali è un argomento di crescente importanza nella ricerca attuale, anche nell'ambito dell'intelligenza artificiale. In questo contesto, i sistemi informatici offrono agli utenti la possibilità di interagire e muoversi in ambienti virtuali, ricevere informazioni complementari durante la visita di una mostra o di un museo e, infine, gestire in maniera flessibile le imponenti quantità di dati relative agli oggetti culturali.
Il Progetto Minerva, nato nel 1995 per iniziativa di Marco Somalvico presso il Laboratorio di Intelligenza Artificiale e Robotica del Politecnico di Milano, ha l'ambizioso obiettivo di estendere il dominio delle attività che possono essere gestite da un sistema informatico nel settore dei Beni Culturali.
Più precisamente, il Progetto Minerva si occupa dello sviluppo di un sistema – chiamato semplicemente Minerva – in grado di fornire supporto all'attività creativa di chi allestisce musei. In questo contesto con il termine allestimento intendiamo sia il processo di allestimento vero e proprio, ossia la suddivisione delle opere da esporre in gruppi ordinati e concettualmente rilevanti, sia l'allocazione, ossia la collocazione di queste opere in uno spazio fisico, preservando il raggruppamento imposto durante il processo di allestimento.
In questa funzione di supporto, Minerva è in grado di offrire due contributi principali. In primo luogo può svolgere in maniera automatica alcuni compiti

The study of computational tools for enhancing the fruition of cultural contents is a topic of increasing importance in current research, and in artificial intelligence as well. In this area, computer systems are mainly adopted to allow the users to interact and move in virtual environments, to receive additional ad-hoc information in a timely fashion during a visit of an exhibition or of a museum, and to flexibly manage the huge quantities of data related to the cultural objects. The Minerva Project, started in 1995 by Marco Somalvico at the Artificial Intelligence and Robotics Laboratory of the Politecnico di Milano, has the ambitious goal to extend the use of computer tools in cultural heritage in order to include some activities that are traditionally considered as exclusively human ones.
More precisely, the Minerva Project aims at developing a system, simply called Minerva, that supports the creative work of human museum organizers. In this context, by adopting the term 'organization' we mean both the preparation and the allocation of a museum or an art exhibition. The preparation is the arrangement of the works of art in conceptually relevant ordered groups. The allocation is the placement of these works of art within a given geometrical space, preserving the arrangement imposed during the preparation process.
Minerva is a computational tool that, by simulating the organization of museums, offers two main contributions. First, it can automatically perform some tedious tasks, such as the verification of the compliance of a possible allocation of works of art with the current legislation; this enlarges the creativity space of the museum organizers by accelerating the production of virtual prototypes of possible museum organizations. Second, Minerva assists the users in the visit and fruition of (automatically organized) virtual museums.
Minerva has been experimentally implemented in two different versions (for an archeological museum and for a design museum) to validate the flexibility and the generality of its architecture.
Both the versions of Minerva are based on the same kernel, which is implemented as a multiagent system composed of autonomous computational entities, called agents. The different museum organizations are the result of the cooperative activity of the agents composing Minerva [1].
The main purpose of Minerva is the automatic organization of museums, given the works of art and the environments in which they must be dis-



1.
I parametri e i criteri selezionabili dall'utente per l'allestimento (sopra) e l'allocazione (sotto) di un museo archeologico
The parameters and criteria of the preparation (top) and allocation (bottom) processes for an archeological museum

noiosi e ripetitivi, come il verificare la corrispondenza di possibili allestimenti con la normativa vigente; ciò, in un certo senso, aumenta lo spazio creativo degli allestitori di musei attraverso la produzione rapida di prototipi virtuali di possibili allestimenti. In secondo luogo, Minerva è in grado di assistere gli utenti durante la visita di musei virtuali allestiti automaticamente. Minerva è stato implementato in due versioni differenti (una relativa a un museo archeologico e una a un museo del design) al fine di validare la flessibilità e la generalità della sua architettura. Infatti, entrambe le versioni di Minerva sono basate sulla stessa architettura, implementata come un sistema multiagente composto di entità computazionali autonome, chiamate agenti. I differenti allestimenti di un museo sono il risultato di un'attività cooperativa degli agenti che compongono Minerva [1].
Dato che l'obiettivo principale di Minerva è l'allestimento automatico di musei, a partire dalle opere d'arte e dagli ambienti in cui tali opere devono essere esposte, il sistema impiega alcuni dei criteri abitualmente utilizzati durante l'allestimento. Innanzitutto si tratta di criteri fisici; come, per esempio, il fatto che alcune opere non possano

played. For this reason Minerva exploits some of the criteria usually adopted in organizing museums. First of all, there are physical criteria: for instance, some works of art cannot be displayed in some rooms because they are scarcely lighted.
In addition, artistic criteria are taken into account: they play a central role in the final result and concern, for example, how to give emphasis to particularly important works of art or how to set connections among different works of art.
Minerva users can be roughly grouped in two different typologies, corresponding to different patterns of behavior. The museum expert and the museum organizer users adopt Minerva for simulating potential organizations (controlled by the users themselves) of the works of art in some environments with the aim of studying and evaluating them. Instead, the common users usually make virtual visits of already organized museums.
In order to briefly describe the functioning of the system, let us consider the archeological version developed with the collaboration of the Archeological Museum in Milan [2]. The user can tune the various parameters and criteria driving the processes of preparation and allocation of the

essere inserite in stanze scarsamente illuminate.
Vi sono poi anche criteri artisitici che giocano un ruolo determinante per il risultato finale e sono relativi, per esempio, al dare particolare enfasi alle opere più importanti o al costruire dei collegamenti tematici tra le differenti opere.
Date le caratteristiche del sistema che si offre contemporaneamente come supporto per l'allestimento e come strumento per la creazione di musei virtuali personalizzati, le tipologie di utenti possono essere anche molto diverse.
Innanzitutto, esperti museali e allestitori che, attraverso la simulazione di allestimenti possibili, possono studiare e valutare allestimenti da realizzare concretamente in seguito.
Inoltre, tutti gli utenti comuni che possono creare musei personalizzati a partire dai propri interessi e dalle proprie conoscenze, oppure visitare virtualmente musei già allestiti.
Per descriverne sommariamente il funzionamento, consideriamo la versione archeologica di Minerva, nata da una collaborazione con il Museo Archeologico di Milano [2]. L'utente può agire su vari parametri e criteri, influendo così sui processi di allestimento e allocazione automatica delle opere (un sottoinsieme della collezione del Museo Archeologico) negli ambienti selezionati (alcune stanze della Caserma Napoleonica, un edificio storico nel centro di Milano) [Figura 1]. I parametri del processo di allestimento determinano l'ordine (basato, per esempio, su forma, tecniche di produzione, tipo, età, cultura, materiale e luogo di origine) secondo il quale le opere devono essere esposte e il criterio concettuale (storico o artistico) secondo il quale le opere possono essere classificate in gruppi consistenti e coerenti.
I parametri del processo di allocazione condizionano invece la collocazione delle opere d'arte nell'am-

2.
La visita virtuale di un museo archeologico allestito automaticamente
The VRML virtual visit of an automatically organized archeological museum

selected works of art in the selected environment [Figure 1]. The parameters of the preparation process determine the order in which the works of art are displayed (according to their shape, production technique, type, age, culture, material, and place of origin) and the conceptual criterion (historical or artistic) by which the works of art are classified in consistent and coherent groups.
The parameters of the allocation process control all the aspects of the placement of the works of art in the environment, including the maximum and minimum occupation of the rooms and of the shrines or the order in which the works of art are placed in the rooms. When the preparation and the allocation activities have been performed, the user can visit the automatically organized museum in a VRML virtual reality setting [Figure 2].
In the virtual museum, the user can follow a list of viewpoints and access the detailed information (including a better VRML model and a number of textual descriptions at various levels of detail) associated to the works of art by clicking on the works

3.
I parametri e i criteri selezionabili dall'utente per l'allestimento di un museo del design
The parameters and criteria for the organization of a design museum

biente, considerando aspetti quali la massima e minima occupazione delle stanze e delle teche e l'ordine secondo il quale le opere sono disposte nelle stanze. Al termine dell'allestimento e dell'allocazione, l'utente può visitare il museo allestito automaticamente in uno spazio virtuale tridimensionale VRML [Figura 2], nel quale ha la possibilità di accedere alle informazioni sulle opere che sta guardando semplicemente cliccando sulle opere d'arte stesse.
La seconda versione di Minerva, che abbiamo realizzato in collaborazione con la Facoltà del Design

of art themselves.
The second version of Minerva (developed in collaboration with the Design School of the Politecnico di Milano) is devoted to the organization of a museum in which a collection of design objects is displayed in a totally imaginary virtual environment. This environment is shaped as a spiral whose dimension depends on the number of design objects resulting from the process of organization. The user performs the same operations as in the previous case. Specifically, the user tunes some parameters that constrain the automatic selection

4.
La visita virtuale di un museo del design allestito automaticamente
An automatically organized design museum displayed to the user

del Politecnico di Milano, è dedicata all'allestimento di un museo composto dagli oggetti di design vincitori del premio Compasso d'Oro.
Tali oggetti sono disposti in un ambiente virtuale tridimensionale che in questo caso non è la riproduzione di un ambiente reale, ma è totalmente immaginario [Figura 3]. Rispetto alla versione archeologica, sono diversi i parametri che interessano l'allestimento: l'anno di vincita del premio; l'innovazione dell'oggetto per quanto concerne la forma, la funzione, il materiale, i processi di produ-

of the design objects to be inserted in the museum and the preparation and allocation processes [Figure 3].
In this case, the parameters are: the year of awarding; the object degree of innovation in shape, function, material, manufacturing process, structure, and communication; the area of use (house, work, communication, entertainment, and movement). The prepared and allocated museum is displayed (with SHOCKWAVE technology) to the user [Figure 4]. As in the previous case, the user

5.
La finestra che mostra informazioni dettagliate sulla lampada Eclisse
The window showing detailed information about the Eclisse lamp

zione, la struttura e la comunicazione; l'area d'uso (abitare, lavorare, comunicare, divertirsi e muoversi). Il museo allestito in modo automatico è visibile all'utente [Figura 4] con una tecnologia SHOCKWAVE, attraverso la quale è possibile accedere alle informazioni sulle singole opere [Figura 5].
Nel futuro intendiamo migliorare alcuni aspetti tecnici di Minerva, per esempio per permetterne la fruizione via web, e applicare Minerva all'allestimento di altri musei per testare ulteriormente la sua flessibilità e la sua applicabilità ad ambiti diversi.

can navigate in the automatically organized museum and can request more information about the displayed design objects [Figure 5].
Future work will be devoted to improve some technical aspects of Minerva, in particular the fruition of the system via web and the retrieval of information concerning the works of art from the web. Furthermore, we aim at applying the same kernel of Minerva to the organization of other museums to test its flexibility and generality.

BIBLIOGRAFIA /
BIBLIOGRAPHY

[1]
Amigoni, F.; Schiaffonati, V. (2003). The Minerva Multiagent System for Supporting Creativity in Museums Organization. Atti dello IJCAI2003 (Eighteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence) Workshop on Creative Systems: Approaches to Creativity in AI and Cognitive Science, IJCAI, Acapulco, Messico, 9-10 agosto 2003, p. 65-74

[2]
Amigoni, F.; Schiaffonati, V.; Somalvico, M. (2001). Minerva: An Artificial Intelligent System for Composition of Museums. Atti dello International Cultural Heritage Informatics Meeting (ICHIM01) Volume 2, Politecnico di Milano, Milano, Italia, 3-7 settembre 2001, p. 389-398

Paolo Paolini
Nicoletta Di Blas
Caterina Poggi

E-Learning e accessibilità per il patrimonio culturale

E-Learning and Accessibility for Cultural Heritage

Introduzione

L'articolo descrive i risultati di due progetti innovativi nell'ambito dei Beni Culturali condotti da HOC (http://hoc.elet.polimi.it) il laboratorio multidisciplinare del dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano: SEE (e-learning avanzato) e WED (accessibilità al Web per utenti non vedenti).
Il progetto SEE (*Shrine Educational Experience*; www.seequmran.it), risultato di cooperazione tra il Politecnico e il Museo di Israele di Gerusalemme, può essere definito come un'*esperienza educativa* sul tema dei rotoli del Mar Morto e argomenti correlati. Studenti di classi diverse si *incontrano* in un mondo 3D condiviso in Internet per discutere, imparare e giocare in uno scambio interculturale coinvolgente, che crea legami di reciproca comprensione tra culture diverse.
Il progetto WED riguarda invece l'accessibilità al Web per utenti non vedenti. L'assunto di base è che l'interazione tra un essere umano e una macchina possa essere paragonata a una sorta di *dialogo*, studiando le cui caratteristiche in paragone a quelle dei dialoghi naturali, è possibile sviluppare linee guida per un design che sposti l'interazione dal canale visivo a quello orale.

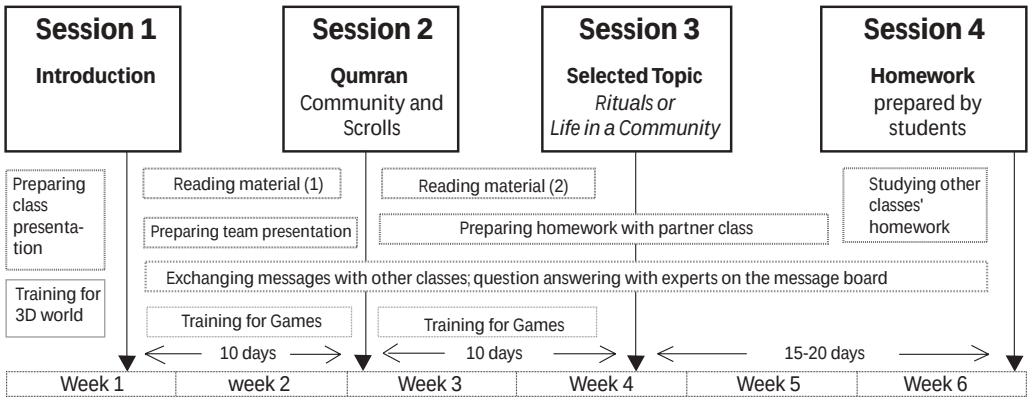
Introduction

The paper describes the results of two innovative projects, in the field of Cultural Heritage, carried on by HOC (http://hoc.elet.polimi.it) the multidisciplinary Laboratory of the Politecnico di Milano Department of Electronics and Information: SEE (advanced e-learning) and WED (accessibility to the web for blind users).
SEE (*Shrine Educational Experience*; www.seequmran.it) project, the result of cooperation between Politecnico and the Israel Museum of Jerusalem, provides an *educational experience* concerning the Dead Sea Scrolls and related issues. Students of different classes *meet* in a 3D world, shared over the Internet, to discuss, learn and play together in an engaging intercultural exchange, creating bonds and understanding between different cultures.
WED addresses the issue of accessibility to the Web for visually impaired users. The assumption is that the interaction between a human being and a machine can be compared to a sort of dialogue: studying its features and comparing them with efficient natural dialogues, it is possible to develop design guidelines in order to switch the interaction from the visual to the oral channel.

SEE – Shrine Educational Experience: an Edutainment 3D Environment for Schools

SEE is a complex edutainment experience: traditional studying and field researching are interspersed with a very innovative edutainment activity, based on a 3D *virtual world* shared over Internet, in which students from different schools virtually meet to discuss and learn together.
SEE was conceived keeping in mind four major educational goals:
• Providing rich, in-depth cultural content about the *Dead Sea Scrolls*, and several related issues;
• Favoring cross-cultural encounters;
• Offering interaction, fun and engagement (as motivators for traditional learning efforts);
• Encouraging the use of innovative Information and Communication Technologies for educational activities [1].
Each *SEE Experience* involves 4 classes of students from 12 to 19 years of age, from different countries. The Experience lasts 6 weeks: during this period the students perform a number of learning activities that lead them from a non-existent (or mild) knowledge of the Scrolls' world, through an in-depth view on some topic of interest, to a *deep*

1.
Articolazione dell'esperienza SEE
SEE activities timeline



SEE – Shrine Educational Experience: un ambiente di edutainment per la scuola

SEE è una complessa esperienza didattica e di intrattenimento (*edutainment*): attività di studio e ricerca tradizionali sono intercalate da cooperazione in un mondo 3D condiviso in Internet, nel quale studenti di scuole e paesi diversi si incontrano virtualmente.

SEE è stato progettato in vista di 4 obiettivi didattici:

• Fornire contenuti culturali rilevanti sui rotoli del Mar Morto [1] e argomenti ad essi correlati;
• Favorire scambi interculturali;
• Offrire interazione e coinvolgimento come stimolo per attività tradizionali di studio;
• Incoraggiare l'uso di Tecnologie Innovative per la didattica [1].

Ogni *Esperienza* coinvolge 4 classi di studenti tra i 12 e i 19 anni d'età, di paesi diversi, e dura 6 settimane: nell'arco di questo periodo gli studenti svolgono diverse attività che li conducono da una non esistente o scarsa conoscenza dei rotoli del Mar Morto, attraverso l'esame approfondito di alcuni temi particolari, a una comprensione profonda dei nessi tra una cultura antica di 2000 anni e il mondo attuale.

understanding on the ties connecting a two-thousand-years-old society with their own present culture.

The novelty of SEE lies in the four *on-line meetings*. Online meetings happen in a virtual environment based on 3D graphics: two students per class, represented by avatars (i.e. graphical representations of the users) *enter* the virtual world in order to meet the other classes and a *guide* [Figure 1 ▸].

Contents – which are downloadable in printable format from SEE website (www.seequmran.it) – consist of a set of interviews to leading experts of the Scrolls, Ancient Literature, and related issues. Unlike usual school textbooks, interviews provide a faceted, thought-provoking overview of the current state of research at academic level, and yet in a readable, straightforward style [Figures 2, 3 ▸].

Students are divided into 2 teams: competition is the most engaging part of the experience, and a tremendous motivator for studying the content: although *physical* skill is required to succeed, no point is earned without a satisfactory answer to cultural enigmas. Thus, even the less study-inclined students, eager of doing well in the games, learn their part well and help their team [Figures 4, 5 ▸].

L'aspetto innovativo di SEE risiede nei 4 incontri on-line, che si svolgono in un ambiente virtuale basato sulla grafica 3D: 2 studenti per classe, rappresentati da *avatar* (rappresentazioni grafiche degli utenti), *entrano* nel mondo virtuale per incontrare le altre classi e una *guida* [Figura 1].
I contenuti - scaricabili in formato stampabile dal sito SEE (www.seequmran.it) - consistono di interviste a esperti mondiali dei manoscritti, di letteratura antica, etc. A differenza dei libri di scuola, le interviste offrono un punto di vista critico e sfaccettato sulla ricerca di livello accademico, ma allo stesso tempo in un formato gradevole e diretto [Figure 2, 3]. Gli studenti sono organizzati in due squadre, in competizione tra loro: questa è la parte più coinvolgente dell'esperienza e uno stimolo potente allo studio dei contenuti. Per quanto l'abilità *fisica* sia richiesta per vincere, nessun punto viene assegnato senza una risposta soddisfacente ai quiz culturali. In questo modo, anche gli studenti meno inclini allo studio, desiderosi di far bella figura nei giochi, studiano la loro parte e supportano la squadra [Figure 4, 5]. La prima fase sperimentale di SEE (primavera 2003) ha coinvolto 36 classi da Italia e Israele, con circa 1000 studenti, e ha dimostrato lo straordinario valore educativo del progetto. Una nuova sperimentazione, con classi da Italia, Israele, Belgio e Germania, è cominciata nella primavera del 2004.

Il progetto WED: accessibilità al Web come un dialogo

Il Web si è rivelato uno dei mezzi di comunicazione più economici in grado di diffondere il patrimonio culturale e raggiungere un ampio pubblico; tuttavia, la sua natura *visiva* lo rende di difficile uso per i disabili alla vista. Gli utenti non vedenti accedono al Web facendo uso di *screenreader*, vale a dire, un SW che interpreta il codice HTML e lo legge *ad alta voce*. Non tutti i siti però hanno le caratteristiche necessarie per *essere letti* dagli screenreader: a questo scopo il consorzio W3C ha emanato nel maggio 1999 una serie di linee guida per l'accessibilità, la cui seconda versione è attualmente in corso di preparazione (www.w3.org/TR/2003/WD-WCAG20-20030624). La rispondenza alle norme W3C non è tuttavia sufficiente a garantire un uso efficiente e soddisfacente del Web.
Il progetto WED (*Web as Dialogue*), svolto in cooperazione dal Politecnico di Milano e dall'Università della Svizzera Italiana, affronta il

2.
Avatars nel mondo 3D si presentano durante la prima sessione. Cliccando sul pannello "classe 1" viene visualizzata una fotografia della classe
Avatars in the 3D world introduce themselves during the first online session.
By clicking on the board labeled "class 1", a pop-up window opens showing a class self-presentation

The experimental phase of SEE (Spring 2003) involved 36 classes (Italy and Israel), with nearly 1000 students, and showed the incredible educational effectiveness of the experience. A new experimentation (involving Italy, Israel, Belgium and Germany) has started in the spring 2004.

The WED project: accessibility to the Web as a dialogue

The Web has proved to be one of the best and cheapest means for disseminating Cultural Heritage and reaching a wider public; nonetheless, its *visual* nature makes it difficult to be used by visually impaired people. Blind users currently access the web thanks to *screenreaders*, that is, SW tools that interpret the HTML code and *read it aloud*. Not all the sites are actually *readable* by a screenreader: for this purpose, the W3C consortium emanated in May 1999 a set of guidelines concerning accessibility; the second draft of these guidelines is currently under development (www.w3.org/TR/2003/WD-WCAG20-20030624). Nonetheless, conformance to the W3C guidelines is far from assuring an efficient and satisfactory web experience. The WED (*WEb as Dialogue*) project, a

tema dell'accessibilità. L'obiettivo è quello di costruire nuovi principi di design a partire dal paragone tra dialoghi umani e dialoghi *uomo-macchina* per spostare l'interazione dal canale visivo a quello orale e creare una sorta di *dialogo* tra il sito e l'utente. Attualmente i dialoghi con il Web sono assai poco *naturali*: gli screenreader adottano una strategia di lettura dall'alto a sinistra a in basso a destra che rende l'interazione con il sito lenta e faticosa. Il lettore può rendersene conto provando a leggere un quotidiano con la stessa strategia: quanto tempo occorre prima di raggiungere un argomento rilevante? O perché sia chiaro quali sono i principali argomenti trattati? Allo scopo di mettere alla prova i primi risultati della ricerca, il gruppo WED ha realizzato, nell'ambito del progetto europeo HELP, il sito per una mostra di stampe di Munch che si è svolta ai Musei di Stato di Berlino nella primavera del 2003 ww.munchundberlin.org) [Figura 6]. Nel sito di Munch si trovano diverse funzioni speciali rivolte a migliorarne l'accessibilità; una delle più importanti è il *page schema*.
Lo screenreader legge anzitutto lo schema della pagina, vale a dire, una sorta di indice delle sezioni di contenuto principali. In questo modo, l'utente può accedere direttamente alla sezione cui è interessato. Il *page schema* non compare visualizzato nella pagina, ma viene solo letto dallo screenreader [Figura 7]. Commenti lusinghieri da parte di *navigatori* non vedenti tedeschi ci hanno confermato che la ricerca si sta muovendo nella giusta direzione.
"La prima impressione del sito è molto positiva, le pagine sembrano essere molto ordinate e chiare fin dal primo accesso […] Mi ci è voluto circa un minuto e mezzo per farmi un'idea generale del sito navigandolo con lo screenreader che uso abitualmente (JAWS 4.51). Al momento credo che questo sia un tempo accettabile visto e considerato che non sapevo cosa aspettarmi: trovare un sito di arte contemporanea accessibile a un non vedente è infatti una rarità. Headings con testi alternativi: bell'idea! I realizzatori del sito hanno sfruttato questa funzionalità in un modo molto intelligente in quanto non solo li hanno usati come *etichette* delle diverse sezioni della pagina, ma li hanno anche identificati come *primo heading*, *secondo heading* etc. Questo consente di saltare in un modo estremamente rapido ed efficace al punto che interessa nella pagina, e crea inoltre una struttura chiara ed efficace della pagina stessa".

3.
Fotografia di una classe. Testimonianza di una professoressa: "era emozionante per i miei studenti vedere i ragazzi e le ragazze dell'altra classe: sono lì, e allo stesso tempo così lontani…"
Class picture in a sample presentation. A teacher: "It was exciting for my students to see the boys and girls of the other class. They are right there, and so faraway at the same time…"

joint cooperation between Politecnico di Milano and the University of Italian Switzerland, addresses the issue of accessibility to the Internet for blind users; the goal is to build new design principles, by comparing human-human dialogues and man-machine *dialogues*, in order to switch the interaction from the visual to the oral channel, trying to give vent to a sort of *dialogue* between the site and its user. Currently *dialogues* with the web are far from natural: screenreaders adopt a *from top-left to bottom-right* reading strategy that makes the interaction with the site slow and cumbersome.
The reader can understand the point by trying to read a newspaper aloud with the same strategy: how long does it take to reach a relevant topic? Or to get an overview of the main pieces of content of the page?
Wishing to put to test the first results of the – still on going – research effort, the WED team, in the frame of a European project called *HELP*, built a website for an exhibition of prints by Edward Munch that took place at the Staatliche Museen of Berlin in Spring 2003(www.munchundberlin.org) [Figure 6]. In the Munch's site many special features are implemented in order to enhance accessibi-

4a.
Un avatar si cimenta nei "giochi olimpici". Se raggiunge la cima della scala prima del suo avversario, guadagna il diritto di rispondere per primo ai quiz
An avatar performs one of the "Olympic Games". If he reaches the top of the ladder before his opponent, his team earns the right to answer the Quiz question first

4b.
Gli avatar riflettono sulla risposta al primo quiz, mostrato dalla guida in una finestra pop up
Avatars reflect on the answer to question 1, which was shown by the guide in a pop-up window

5.
www.munchundberlin.org; la homepage
www.munchundberlin.org; the homepage

4a.

4b.

lity; one of the most important is the page schema. The screenreader reads the *page schema* first, that is, a short summary of the basic sections of the page. Therefore the user can directly access the section s/he's interested in. The page schema is a purely oral feature: it reflects the page's conceptual organization but it is not visualized as text on the screen [Figure 7]. Rewarding comments from German blind *navigators*, such as the following, have confirmed us that the WED approach is moving in the right direction:
"The first impression of the site is very positive. The pages are clearly structured […] With my favorite screenreader JAWS (version 4.51.212) I needed about 1,5 minutes to get a general overview for all further action. This seems to me an acceptable time, considering that this form of documentation of such an exhibition is quite unusual at the moment. Heading with ALT-TAGs - great idea! The engineers did an excellent job by not using the headings only as structural elements, but adding Alt-Tags to them. This creates a very fast and effective structure of orientation, which before all will be very convenient for users who surf only occasionally". (mail from mister Martin Kirchner, May 18th, 2003).

NOTE
[1] Manoscritti databili tra il II sec. a.C. e il 68 d.C., scritti probabilmente da una comunità di Ebrei Esseni che viveva nel deserto di Giuda presso il sito archeologico di Khirbet Qumran. Rappresentano la più antica versione di libri della Bibbia, una fonte unica per comprendere le radici della civiltà occidentale

NOTES
[1] Manuscripts written between 2nd century b.C and 68 a.D by a community of Hebrew Essenes, who lived in the Judean desert near the archeological site of Khirbet Qumran. They represent the earliest known version of books from the Bible, an invaluable source for understanding the roots of Western civilization

6.
Template di pagina dal sito di Munch. Viene evidenziata l'organizzazione dei diversi contenuti
Page template of the Munch'site. The organization of the pieces of content is highlighted

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

Progetto SEE

Di Blas, N., Hazan, S., Paolini, P. (2003). Edutainment in 3D virtual worlds. The SEE experience, Proc. Museums and the Web 2003.

Di Blas, N., Paolini, P., Poggi, C., Mondi 3D in Internet. Un ponte tra scuole e musei, in P.A. Valentino (ed.) VI Rapporto Civita (2002/2003), Giunti Gruppo Editoriale, Firenze (i.c.s.).

Di Blas, N., Paolini, P., Poggi, C. (2003). SEE (Shrine Educational Experience): an Online Cooperative 3D Environment Supporting Innovative Educational Activities. Proceedings of ED-MEDIA 2003.

Di Blas, N., Paolini, P., Poggi, C. (2003). Shared 3D Internet environments for education: usability, educational, psychological and cognitive issues. Proc. of HCI International 2003, LEA 2003

Progetto WED

Cantoni, L. & Paolini, P. (2001) Hypermedia Analysis: Some Insights from Semiotics and Ancient Rhetoric, Studies in Communication Sciences, 1: 33-53

Di Blas, N. & Paolini, P. (2001) La Retorica e il Web, in D'Alessandro, P. (ed.), Internet e la filosofia, LED, Milano: 39-49

Di Blas, N. & Paolini, P. (2003a). Do we speak with computers? How linguistics meddle with the Web. In E. Rigotti, A. Giacalone-Ramat & A. Rocci (Eds.). Linguistics & new professions. Milano: Franco Angeli, 221-233

Di Blas, N. & Paolini, P. (2003b). There And Back Again: What Happens to Phoric Elements in a Web Dialogue. Journal of Document Design, 4(3), 194-206

Di Blas, N., Paolini, P., M. Speroni, A. Bienert (2003). Listen to a Web site: accessibility (beyond current standards) and a market opportunity, ICHIM 2003 proceedings, Paris

Di Blas, N., Paolini, P., M. Speroni, Capodieci, A. (2004). Enhancing accessibility for visually impaired users: the Munch's exhibition. In Bearman D. & Trant J. (eds), (2004) Museums and the Web 2003. Selected Papers from an International Conference, Archives & Museum Informatics, Washington DC / Arlington VA, USA

Laboratori dell’Area Beni Culturali
Cultural Heritage Research Laboratories

Laboratorio di Analisi e Diagnostica del Costruito
Sezione di termografia, psicrometria e prove gravimetriche per i Beni Culturali

Laboratory of analysis and diagnosis of buildings

Via Durando, 38/A – 20158 Milano

Responsabile scientifico: Alberto Grimoldi
Elisabetta Rosina, Elke Di Flumeri

Superfici funzionali: 70m²

Le metodologie d'indagine affinate nel laboratorio permettono di offrire una consulenza scientifica e tecnica nel settore del rilievo del degrado e al tempo stesso della stratificazione storica dell'edificato, identificando non solo i fenomeni esauriti o in atto, ma anche individuandone la durata. A tal fine ha sviluppato la conoscenza delle tecniche costruttive, dei materiali impiegati e del loro stato di conservazione nell'edilizia storica. Le tecniche utilizzate sono state rese affidabili grazie alla ricerca applicata che è stata sviluppata parallelamente.
In particolare la termografia all'infrarosso – usata come tecnica non distruttiva per la prospezione delle murature intonacate – è stata inoltre integrata in modo innovativo con la psicrometria e le prove gravimetriche consentendo di monitorare le dinamiche di scambio tra ambiente e muratura e di identificare con maggiore certezza, rispetto alle indagini tradizionali, le vie di adduzione d'acqua alla struttura. La sinergia di queste e altre tecniche diagnostiche non distruttive, della ricerca documentaria, del procedimento stratigrafico fanno del laboratorio un riferimento facilmente riconoscibile e identificabile all'esterno, poiché nel panorama nazionale e internazionale sono pochi i centri di ricerca che sviluppino e integrino metodi di analisi analoghi.

The laboratory developed some new investigation methods as tools of the scientific and technical consultant, in order to assess the ancient building technique, the materials and their damage. The research has been developed on these theme with the objective to make the techniques mostly feasible and reliable. Particularly, the innovative and integrated use of IR Thermography, psychrometry and gravimetric tests allows to monitor the exchanges between the structures and the environment and identify the sources of infiltration. The level of reliability of the methods is much higher than the traditional techniques. The terrific results of the cooperation between scientific techniques and historic analysis enhances the visibility of the laboratory: in the national and international arena there are only few competitors for the application and development of this analysis.

Laboratorio di Corrosione e Protezione dei materiali

Laboratory of Materials Corrosion and Protection

Via Mancinelli, 7 - 20131 Milano

Responsabile: Luciano Lazzari
Pietro Pedeferri, Fabio Bolzoni, S. Goidanich , M. Ormellese

Superfici funzionali: 70m²

Comportamento a corrosione di materiali metallici (acciaio al carbonio, acciaio inossidabile, acciaio zincato, rame, titanio, alluminio e loro leghe) in diversi ambienti (atmosfera, soluzioni neutre, alcaline o acide, acqua di mare, acqua dolce, calcestruzzo). Ossidazione del titanio. Studio dell'influenza della corrente alternata sui fenomeni di corrosione. Protezione catodica. Inibitori di corrosione.

Corrosive behavior of metallic materials (carbon steel, stainless steel, galvanized steel, copper, titanium, aluminum, and their alloys) in different environmental conditions (atmosphere, neutral, alkaline and acid solutions, sea water, tap water, concrete). Titanium oxidation. Cathodic protection. Inhibitors.

Laboratorio Materiali Cementizi e durabilità delle strutture in calcestruzzo armato

Cementious Materials and durability of reinforced concrete structures

Via Mancinelli, 7 – 20131 Milano

Responsabile: Luca Bertolini
Maddalena Carsana, Matteo Gastaldi, Marco Manera, Pietro Pedeferri, Elena Redaelli, Franco Traisci

Superfici funzionali: 150m²

Le principali attività sperimentali sono volte:
-alla caratterizzazione dei materiali cementizi antichi e moderni;
-allo sviluppo di materiali cementizi innovativi;
-allo studio del degrado del calcestruzzo e della corrosione delle armature nel calcestruzzo;
-allo sviluppo di metodi e tecniche per la prevenzione del degrado delle strutture, per l'ispezione e il monitoraggio e per il recupero e la conservazione delle opere degradate:
Il laboratorio effettua, inoltre, ispezioni su strutture reali per la diagnosi dello stato di conservazione, la valutazione della vita residua e la programmazione della manutenzione .

The main experimental activities are aimed at:
-the characterization of ancient and modern cementitious materials;
-the development of innovative cementitious materials;
-the study of degradation of concrete and corrosion of steel reinforcement;
-the development of methods and techniques for prevention of degradation, the inspection and monitoring and the rehabilitation of damaged structures.
Furthermore, the laboratory carries out inspections on real structures for the diagnosis of the deterioration, the evaluation of residual service life and the planning of maintenance.

Laboratorio di Misure Ottiche di Materiali per i Beni Culturali

Laboratory of Optical diagnosis of Materials for the Cultural Heritage

Piazza Leonardo da Vinci, 32 – 20133 Milano

Responsabile: Giuseppe Zerbi
Erica Mannucci, Luigi Brambilla

Superfici funzionali: 200m² in collaborazione con il laboratorio di Spettroscopia e Dinamica Molecolare.

Riconoscimento dei materiali e studio dei processi degradativi e conservativi in materiali di interesse dei Beni Culturali mediante misure ottiche e spettroscopiche.
Il Laboratorio gestisce da anni corsi annuali liberi (con esperienze di laboratorio) nel campo della formazione permanente nel settore dei materiali e della diagnostica.
Le tecniche utilizzate sono misure ottiche di assorbimento (IR-UV-Visibile) o di scattering (Raman) e riflessione (semplice o ATR).

Chemical diagnosis and study of the degradation and conservation processes in materials in the various fields of Cultural Heritage.
The laboratory offers annual courses (including experiences in the laboratory) in the field chemical diagnosis and conservation for the works of art.
The techniques consist in optical absorption (IR-UV-Vis), scattering Raman and simple or multiple reflection (ATR).

Laboratorio di Intelligenza Artificiale e Robotica

Artificial Intelligence and Robotics Lab

Via Ponzio, 34/5 – 20133 Milano

Francesco Amigoni, Andrea Bonarini, Vincenzo Caglioti, Marco Colombetti, Giuseppina Gini, Pierluca Lanzi, Rosamaria Morpurgo, Roberto Resmini, Piera Sassaroli

Superfici funzionali: circa 150 m² su tre sedi (40 Campus Bassini, 90 Lambrate, 20 Como)

Progettazione e sviluppo di robot autonomi per applicazioni di servizio, industriali, intrattenimento, esplorazione, edutainment. Visione artificiale per applicazioni robotiche e industriali. Analisi e interpretazione dati sensoriali e fusione multi-sensoriale. Agenti autonomi e sistemi multi-agente, con applicazioni nei sistemi di contrattazione automatica, nei sistemi museali, nell'interpretazione dei dati sensoriali, nell'esplorazione e nell'operazione in ambienti sconosciuti, nel supporto alle funzionalità del corpo umano, nel monitoraggio, supervisione e controllo ambientale. Modelli di comunicazione tra agenti. Interfacce uomo-macchina intelligenti. Applicazioni di soft computing: controllo fuzzy, modelli fuzzy, reti neurali, algoritmi genetici. Data mining. Apprendimento automatico. Sistemi basati sulla conoscenza per applicazioni di supporto alle decisioni, diagnosi, modellazione e predizione di nuovi composti.

Design and implementation of mobile robots for service, industry, exploration, entertainment and edutainment applications. Artificial vision for industrial and robotic applications. Sensor data analysis and interpretation, multi-sensor fusion. Autonomous agents and multi-agent systems applied to: e-commerce, museums, sensor data interpretation, exploration, operation in unknown environments, human body function support, environmental monitoring, supervision and control. Models of communication among agents. Intelligent human-machine interfaces. Soft computing application: fuzzy control, fuzzy modeling, .neural networks, genetic algorithms. Data mining, Machine learning, Knowledge-based systems for decision support, diagnosis, modeling and prediction of novel molecules.

Dipartimento di Elettronica e Informazione (DEI)

Laboratorio Raggi X e Gamma - rivelatori, strumentazione e applicazioni analitiche

X and Gamma Ray Laboratory - detectors instrumentation and analytical applications

Via Golgi, 40 – 20133 Milano

Responsabile: Antonio Longoni
Giancarlo Ripamonti, Marco Sampietro, Giuseppe Bertuccio, Carlo Fiorini, Federico Zaraga, Angelo Geraci, Chiara Guazzoni

Superfici funzionali: 45m²

Progettazione e sperimentazione di rivelatori a semiconduttore per raggi X e Gamma. Sviluppo di strumenti per l'analisi dei materiali basata sulla fluorescenza X. In particolare, strumentazione portatile per la diagnostica non distruttiva nel campo dei Beni Culturali e strumentazione di laboratorio per la microanalisi dei materiali di interesse tecnologico (elemental mapping, micro-tomografia, analisi di rivestimenti).
Sviluppo di apparati scintigrafici per raggi Gamma con risoluzione sub-millimetrica per applicazioni in biologia molecolare e diagnostica medica (tomografia di piccoli animali, diagnosi di tumori al seno e tiroide). Sviluppo di rivelatori e strumentazione per astronomia X e Gamma a bordo di satelliti.
Sviluppo dell'elettronica per l'acquisizione e il trattamento dei segnali dei rivelatori, in particolare elettronica VLSI a basso rumore e bassa dissipazione.

Design and characterization of X and Gamma ray detectors. Development of instruments for material analyses based on X-ray fluorescence spectroscopy. In particular, portable instruments for non-destructive analyses in the field of cultural heritage and laboratory instruments for micro-analyses of materials of technological interest (elemental mapping, micro-tomography, coatings characterization). Development of instruments for Gamma ray scintigraphy with sub-millimetric resolution for molecular biology researches and medical applications (small animals tomography, breast or thyroid tumor diagnosis). Development of detectors for X and Gamma ray astronomy. Development of electronic circuits for readout and processing of detector signals, in particular low noise and low power VLSI electronics.

Dipartimento di Fisica

Laboratorio di Immagini di Fluorescenza e di Immagini Ultrarapide

Laboratory of Fluorescence Imaging and Fast Imaging

Piazza Leonardo da Vinci, 32 – 20133 Milano

Responsabile Rinaldo Cubeddu
Daniela Comelli, Cosimo D'Andrea, Gianluca Valentini, Mauro Scarparo

Superfici funzionali: 180m²

Misurazione delle mappe spaziali del tempo di decadimento della fluorescenza per applicazioni in medicina, genetica e diagnostica di Beni Culturali, ed in particolare:
a) individuazione e demarcazione di tumori cutanei in pazienti trattati con farmaci fotosensibilizzanti;
b) studio dei meccanismi di ibridazione di oligonucleotidi marcati su micromatrici di DNA per analisi di mutazioni ed espressione genica;
c) studio della distribuzione spaziale di contaminanti organici su Beni Culturali.
Utilizzo di immagini ultrarapide per diagnostica di processo: applicazione allo studio della dinamica dell'ablazione laser di materiali organici ed inorganici.

Fluorescence Lifetime Imaging for applications in medicine, genomic and conservation of cultural heritage, and in particular:
a) detection and outline of skin tumours in patients treated with photosensitising drugs;
b) study of hybridisation mechanisms of labelled oligonucleotides in DNA microarrays;
c) study of the spatial distribution of organic contaminants in works of art.
Use of fast imaging techniques for process monitoring: application to the study of laser ablation of organic and inorganic materials.

LabFoto Laboratorio di produzione dell'immagine

Photography Experimental Workshop

Via Durando, 10 - 20158 Milano (edificio N)

Responsabile: Corrado M. Crisciani
Matteo Bergamini, Dario Sigona

Superfici funzionali: 1550m²

Riprese fotografiche con tecnologia chimica e digitale.
Studio di tecniche di postproduzione digitale.
Ricerche sull'applicazione della fotografia digitale nell'ambito dell'archiviazione di documenti storici e della conservazione dei Beni Culturali.
Attività didattica autonoma e di supporto ai corsi istituzionali.
Attività di documentazione e redazionale per conto di strutture d'Ateneo.

The experimental workshop is devoted to the consultation and realization of photographic projects through the tools of both traditional and digital photography.

Laboratorio Luce & Colore

Light & Color

Via Durando, 10 - 20158 Milano (Edificio LM)

Responsabile: Alberto Seassaro
Maurizio Rossi, Giorgio Vignati

Superfici funzionali: 450m²

Misure goniofotometriche, videofotometriche, di flusso luminoso, di illuminamento, di luminanza. Misure spettrali: radiometriche e fotometriche. Misure colorimetriche. Misure e verifiche sul campo della illuminazione e del colore. Collezioni e campioni colore. Sorgenti luminose campione. Verifiche termiche e di rigidità dielettrica su apparecchi di illuminazione. Allestimento e verifiche sulla luce. Progettazione di sistemi innovativi per l'illuminazione, del colore e di apparecchi di illuminazione, anche assistita al computer. Prototipazione virtuale fotorealistica della luce e del colore.

The studio offers support for academic activities relative to the design of color, lighting, lighting devices and those industrial products that have a direct relationship with light. It also carries out research activities in the field of illumination engineering design and the visual perception of color.

Laboratorio di Movie Design

Laboratory of Movie Design

Via Durando, 10 - 20158 Milano (edificio N)

Responsabile: Marisa Galbiati

Superfici funzionali: 240m²

Studio e realizzazione di progetti di comunicazione audiovisiva e multimediale di tipo strategico (dvd, dvd video, ambienti interattivi, videoinstallazioni) per i settori broadcasting (televisione e pubblicità) e per il sistema delle imprese (comunicazione d'impresa istituzionale, comunicazione di prodotto, brand communication, convention aziendali e allestimenti multimediali del punto vendita).

The experimental workshop offers assistance to students for the realization of video recording artefacts and the handling of images in motion.

Laboratorio Virtual Prototyping and reverse Modelling

Laboratory of Virtual Prototyping and Reverse Modelling

Via Durando, 10 - 20158 Milano (edificio N)

Responsabile: Marco Gaiani
Fausto Brevi, Nicolò Ceccarelli, Mauro Ceconello, Grazia Magrassi, Laura Micoli

Superfici funzionali: 625m²

Digitalizzazione di una maquette di studio o di un oggetto esistente da modificare.
Creazione di un modello digitale a faccette triangolari a partire dai cloud of point e dalle image map generate col punto 1.
Ingegnerizzazione della forma e creazione di un modello a superficie esatto.
Realizzazione del progetto di modifica e/o ispezione del modello di retroingegneria per raffronto con un corrispettivo CAD.
Implementazione del progetto nel sistema di visualizzazione di VR e visualizzazione a vari livelli di iconicità (flat screen, stereo-view, CAD-Wall, ...) per la valutazione del progetto.

The experimental workshop provides assistance to projects that are complex from an engineering and technical point of view, which need a virtual three-dimensional representation and the most advanced digital modeling tools.

Laboratorio Gino Cassinis

Laboratory Gino Cassinis

Piazza Leonardo da Vinci, 32 – 20133 Milano

Responsabile: Giorgio Bezoari
Franco Guzzetti (Responsabile Tecnico), Roberto Prini, Maurizio Spagnoli, Lucio Pallottino

Superfici funzionali: 42 m² (attualmente in fase di ristrutturazione)

Prove per la determinazione della deviazione standard sulla base di misure ripetute con strumenti topografici quali il livello (con e senza lamina piano-parallela) per misure di dislivelli, il teodolite (con microscopio oculare, con micrometro al millesimo di gon, con micrometro al decimillesimo di gon, elettronico) per misure di angoli azimutali e zenitali e il distanziometro elettronico (abbinato a un teodolite) per misure di distanze.

Tests for determining standard deviation on the basis of repeated measurements taken with topographical instruments such as level (with or without beam splitter) for dislevelments, theodolite (with microscope eyepiece, with milligon micrometer, decimilligon micrometer, electron) for azimuth and zenithal angles measurements and electron diastimeter (coupled with a theodolite) for distances.

Laboratorio IC&T (Ingegneria Civile e Territorio) Sezione Rilevamento

Laboratory IC&T (Civil Engineering & Land Management) - Surveying Section

Polo Regionale di Lecco, C.so Promessi Sposi, 23 - 23900 Lecco

Responsabile: Alberto Giussani
Marco Scaioni, Fabio Roncoroni

Superfici funzionali: 80m²

Prove di verifica delle prestazioni di strumentazioni topografiche, fotogrammetriche, laser-scanner e di sistemi GPS per il posizionamento di punti, il rilievo di strutture e il monitoraggio di movimenti e deformazioni (in campo strutturale e per il controllo di frane). Utilizzo di tecniche di telerilevamento, in particolare delle immagini ad alta risoluzione, per la gestione del territorio. Ricerca nel campo delle tecniche GPS, integrate a sistemi GIS e supportate dalla stazione permanente installata presso il laboratorio, per applicazioni di catasto stradale, rilevo di sentieristica, posizionamento di mezzi e persone e nel campo della protezione civile. Progetti di integrazione di banche dati con cartografia numerica per la realizzazione di Sistemi Informativi Territoriali.

Test for the validation of topographic, photogrammetric and laser-scanner instruments, GPS systems for point positioning, surveying of structures and monitoring of movements and deformations (in the structural field and for controlling land-slides). Application of Remote Sensing techniques for analysis and land management, in particular by means of high resolution imagery. Research activities in the field of GPS techniques integrated to GIS and supported by the permanent station installed in the laboratory, for applications of road cadastre, track survey, positioning of vehicles and people and for the civil protection. Design of the integration of database with numerical cartography to build up Land Information Systems.

Laboratorio Rilievo Cartografia Numerica GIS

Laboratory Survey Digital Cartography GIS

Piazza Leonardo da Vinci, 32 – 20133 Milano

Responsabile: Carlo Monti
Raffaella Brumana, Giovanmaria Lechi, Carlo Savi, Cristiana Achille, Francesco Fassi, Federico Prandi, Giada Monti, Marco Gianinetto

Attualmente funzionante normalmente ma in fase di ristrutturazione edilizia (edificio n° 3, Padiglione Sud)

- Fotogrammetria digitale 2D, 3D (camere digitali);
- Restituzione digitale di: cartografia numerica, ortofoto 3D da prese aeree, da satellite e da camere terrestri per il rilievo dei Beni Culturali;
- Lavori topografici di alta precisione sia per il controllo delle strutture sia per il rilievo celerimetrico con teodoliti motorizzati laser no-prism e laser scanner per l'acquisizione e generazione di DSM (Superficie digitali);
- GIS implementazione di sistemi informativi territoriali sia a livello di Enti Locali (Comuni, Province, Regioni) sia a livello di gestione dei Beni Culturali;
- Organizzazione di corsi GIS avanzati di aggiornamento per personale laureato esterno.

- Digital photogrammetry 2D, 3D (digital camera)
- Digital representation of numerical cartography, 3D orthophoto maps taken from aerial photographs, from satellite and digital photogrammetric camera for the Cultural Heritage survey;
- topographical applications of high precision to support the control of the structures and for celerimetric surveys with motorized total station (laser no-prism) and laser scanner for DSM (Digital Surface Model);
- GIS implementation of information systems both for Local Agencies (Common, Province, Regions) and for the management of the Cultural Heritage;
- Organization of advanced GIS courses for external graduates.

Laboratorio Materia Soffice

Soft Condensed Matter Lab

Via Ponzio, 34/3 - 20133 Milano

Responsabile: Roberto Piazza
Emanuele Vignati, Sara Iacopini, Roberto Rusconi

Superfici funzionali: 70m²

Analisi sperimentali, con tecniche prevalentemente ottiche, di proprietà fisiche di fluidi complessi e, più in generale, materiali 'soffici'. L'attenzione è rivolta in particolare alla sintesi di nano-particelle in soluzione, allo studio della struttura e dinamica di sospensioni colloidali, alla caratterizzazione di processi di emulsificazione in sistemi di interessi industriale (in collaborazione con EniTecnologie), all'analisi di processi di aggregazione e cristallizzazione in soluzioni di macromolecole biologiche, anche d'interesse medico-clinico.

Experimental studies, mainly with optical methods, of the physical properties of complex fluids and, more generally, 'soft' materials. Attention is particularly focused on synthesis of nano-particles in solution, studies of structural and dynamic properties of colloidal suspensions, characterization of emulsification processes with applicative interest (in collaboration with EniTecnologie), analysis of aggregation and crystallization processes in solution of biological macromolecules, also of clinical interest.

Analisi con tecniche di light scattering delle proprietà di associazione in soluzione di farmaci di ultima generazione (microemulsioni di ciclosporine) con finalità di confronto tra diverse preparazioni per certificazioni internazionali.

Tests with light scattering methods of associative properties of last-generation drugs (cyclosporine microemulsions). Aimed at comparing different preparations for international certifications.

Laboratorio Materiali Micro e Nanostrutturati

Micro and Nanostructured Materials Laboratory

Via Ponzio, 34/3 - 20133 Milano

Responsabile: Carlo E. Bottani
Personale docente: Marco G. Beghi, Paolo M. Ossi, Andrea Li Bassi
Personale tecnico: Antonio Mantegazza, Anna Facibeni

Superfici funzionali: 130m^2

Produzione e caratterizzazione di materiali nanostrutturati per applicazioni nel campo dei supercapacitori, celle a combustibile, sensoristica di gas, catalisi, fibre ottiche, amplificazione Raman, rivestimenti protettivi, materiali rinforzati, ecc. Produzione: deposizione di film sottili nanostrutturati (es. di carbonio e ossidi di metalli di transizione) mediante assemblaggio di cluster atomici in fascio molecolare supersonico e mediante pulsed laser deposition (PLD). Caratterizzazione in-situ ed ex-situ di proprietà vibrazionali, strutturali, meccaniche, di superficie (elettroniche, morfologiche, tribologiche), dalla scala atomica alla scala mesoscopica (centinaia di nm), di materiali nanostrutturati prodotti nel laboratorio o provenienti da collaborazioni (film sottili, multistrati, materiali assemblati da cluster, nanoparticelle libere o in matrice, nanotubi, ecc.) mediante scattering inelastico di luce (spettroscopie Raman in-situ e Brillouin), microscopia a forza atomica (AFM) e microscopia a scansione per effetto tunnel in-situ (STM).
Collaborazioni nazionali e internazionali con università, centri di ricerca, industrie.

Production and characterization of nanostructured materials for applications in the field of supercapacitors, fuel cells, gas sensors, catalysis, optical fibers and Raman amplifiers, protective coatings, reinforced materials, etc.
Production: deposition of nanostructured thin films (e.g. carbon and transition metal oxides) by assembling of atomic clusters in supersonic molecular beams and by pulsed laser deposition (PLD).
In-situ and ex-situ characterization of vibrational, structural, mechanical, tribological, morphological, electronic and surface properties, from the atomic scal up to the mesoscopic scale (hundreds of nm), of nanostructured materials produced in the laboratory or by collaborating groups (thin films, multilayers, cluster-assembled materials, free or embedded nanoparticles, nanotubes, etc.), by inelastic light scattering (in-situ Raman and Brillouin spectroscopies), atomic force microscopy (AFM) and in-situ scanning tunnelling microscopy (STM).
National and international collaborations with universities, research centers, industry.

Laboratorio di Rilevatori Immagini e Strumentazione Elettronica

Laboratory of Imaging Detectors and Electronic Instrumentation

Via Ponzio, 34/3 – 20133 Milano

Responsabile: Andrea Castoldi
Antonio Galimberti, Chiara Guazzoni

Superfici funzionali: 25m²

Caratterizzazione nell'intervallo di temperature 10-400K di rivelatori a semiconduttore per imaging X e spettroscopia X. Simulazione di rivelatori a semiconduttore (potenziale, campo elettrico, trasporto di elettroni e lacune, segnali indotti). Progetto maschere tecnologiche per produzione rivelatori. Progetto e caratterizzazione di circuiti elettronici a basso rumore (preamplificatori, filtri formatori). Caratterizzazione delle prestazioni DC, AC e di rumore di dispositivi e circuiti elettronici nell'intervallo di temperature 10-400K.

Characterization of semiconductor detectors for X-ray imaging and X-ray spectroscopy at a temperature ranging from 10 to 400K. Simulation of semiconductor detectors (potential, electric field, dynamics of electron and holes, induced signals). Design of technological masks for detector production. Design and characterization of low-noise electronic circuits (preamplifiers, shaping amplifiers). Characterization of the DC, AC and noise performance of electronic devices and circuits at a temperature ranging from 10 to 400K.

Laboratorio di Fisica Nucleare

Laboratory of Nuclear Physics

Piazza Leonardo da Vinci, 32 – 20133 Milano

Responsabile: Mario Terrani
Alessandra Cesana, Francesco Germano Grassi

Superfici funzionali: 50m²

Misure nucleari e rivelazione di radiazioni. Applicazioni di tecniche nucleari di analisi non distruttiva (XRF, analisi per attivazione neutronica, assorbimeto e diffusione di fotoni) in campo archeologico, ambientale ed industriale. Misure di contaminazione radioattiva (gamma ed alfa emettitori) in campioni ambientali. Metrologia di radionuclidi applicata a problemi di decommissioning di impianti nucleari. Sviluppo di rivelatori non convenzionali per la caratterizzazione di campi di radiazione neutronici e gamma anche a livello del fondo ambientale.

Nuclear measurements and radiation detection. Industrial and archaeological application of non destructive nuclear techniques of analysis (XRF, neutron activation, gamma-ray scattering and absorption). Determination of radioactive contamination (gamma and alpha emitters) in environmental samples and metrology of radionuclides the decommissioning of nuclear plants. Development of neutron and gamma ray detectors for natural background spectrometry.

Laboratorio Prove Materiali

Via Celoria, 3 – 20133 Milano

Responsabile: Carlo Poggi

Superfici funzionali: 5910m^2

Attività sperimentali svolte in particolare nel Campo del costruito e dei Beni Culturali.
Settore Chimico-Tecnologico (Resp. Luigia Binda e Giulia Baronio): a) indagini diagnostiche in sito di tipo non distruttivo (ultrasoniche, soniche, radar, ecc.) e semi-distruttivo (martinetti piatti, sclerometri, misure di umidità e di sali) su strutture murarie storiche e siti archeologici, rilievo del degrado e del quadro fessurativo con foto-raddrizzamento; b)caratterizzazione chimica, fisica e meccanica di materiali da muratura e di murature e studio della loro durabilità alle azioni dell'ambiente. Tali indagini che partono dal progetto delle prove alla loro esecuzione ed interpretazione, sono svolte oltre che per Conto Terzi, anche nell'ambito di contratti di ricerca nazionali e internazionali, sviluppati dalla sezione Costruzioni Storiche del DIS. Prove a normativa EN su materiali lapidei e ceramici. L'esperienza è di lunga data e sono state svolte indagini diagnostiche e prove sull'efficacia di tecniche di consolidamento su edifici storici (Torre Civica di Pavia, Torre campanaria del Duomo di Monza, Torrazzo di Cremona, S. Vitale a Ravenna, Cattedrale e Chiesa di SS. Crocefisso di Noto, S. Niccolò a Catania, Complesso Cascina e Chiesa Rossa a Milano, Castelli di Este, di Avio, di Pisece, Altes Musem di Berlino), centri storici in zona sismica (Montesanto, Roccanolfi, Campi e Castelluccio di Norcia in Umbria, Taggia e Bajardo in Lunigiana e Garfagnana in Castevoli, Fivizzano, ecc.). Settore Calcestruzzi e Cemento Armato (Resp. Marco Di Prisco): prove sul comportamento dei materiali cementizi e delle strutture in cemento armato e cemento armato precompresso. Indagini diagnostiche in situ e in laboratorio su edifici in c.a. esistenti (misura della profondità di carbonatazione, della porosità, rilievo delle microfessure, dell'indice di rimbalzo, velocità ultrasoniche, estrazione di inserti, prove di carico).
Settore Geotecnico (Resp. Annamaria Cividini): Caratterizzazione del comportamento meccanico ed idraulico di terreni di fondazione naturali e ricostituiti, interpretazione dei risultati di prove e di misure in sito con riferimento anche a siti monumentali (Torre Civica di Pavia, Vat-Phu (Laos)) ed edificati (pompaggi in area urbana).

Material Laboratory

Chemical –Technological (Resp. L.Binda, G. Baronio): on-site diagnostic investigation on historic masonry structures and archaeological sites: non destructive tests (ultrasonic, sonic, radar, etc.) and minor-destructive tests (flat jacks, pendulum hammer, moisture and salts content), decay and cracks pattern survey with orto-photo-plan; chemical, physical and mechanical characterization of masonry and masonry materials and study of their durability under environmental conditions.
Such investigations, which start from the test project and its calibration and interpretation, are also carried out as part of national and international contracts, developed within the historic buildings section of DIS. Tests according to EN standards on stones and ceramic materials.Diagnostic investigations and evaluation of repair techniques on historic masonry building have long been carried out
(Civic tower at Pavia, bell tower of Monza Cathedral, "Torrazzo" at Cremona, S. Vitale at Ravenna, Cathedral and church of SS. Crocefisso at Noto, S. Niccolò at Catania, "Chiesa Rossa" church and farm at Milan, Castelli at Este, at Avio, at Pisece, Altes Musem at Berlin), historic center in seismic area (Montesanto, Roccanolfi, Campi and Castelluccio di Norcia at Umbria, Taggia and Bajardo at Liguria, Castevoli, Fivizzano, etc. Lunigiana and Garfagnana at Toscana).
Concrete and Reinforced Concrete (Resp.M. Di Prisco): mechanical properties of concrete materials and structures in r.c. and p.r.c. In situ and laboratory diagnostic investigations on existing r.c. buildings (measurement of carbonation depth, porosity, micro - cracks survey, rebound index, ultrasonic velocity, pull-out, load bearing tests).
Soil mechanics (Resp. A. Cividini): characterization of the hydraulic and mechanical behavior for soil deposits in monumental areas (Civic Tower, Pavia, Vat-Phu - Laos) and the built environment (pumping wells in urban area).

Dipartimento di Meccanica

Laboratorio di Dinamica, Misure e Trasporti

Laboratory of Dynamics, Measurements and Transport

Via La Masa, 34 - 20158 Milano

Responsabile: Piermaria Davoli
Luigi De Alberti, Marco Bocciolone, Antonio Armillotta, Federico Cheli, Alfredo Cigada, Gianpiero Mastinu, Michele Monno, Maurizio Vedani, Alberto Zasso

Superfici funzionali: 600m²

Misure Prove e misure meccaniche e termiche di vario tipo, misure dinamiche, tecniche diagnostiche, certificazione di prove complesse.
Prove dinamiche Identificazione di parametri strutturali e modali di strutture; caratterizzazione di smorzatori passivi; caratterizzazione dello smorzamento e della vita a fatica di cavi per trasmissione di potenza elettrica e dei relativi sistemi passivi (distanziatori, ammortizzatori dinamici); comportamento dinamico di sistema pantografo-catenaria, con analisi del contatto e dell'usura anche sotto tensione; prove su carrelli ferroviari e su armamento ferroviario; prove di fatica su assali ferroviari in scala reale.

Measurements: mechanical and temperature measurements, dynamic testing, certification of complex set-ups, diagnostic techniques.
Dynamic testing: Structural and modal parameters identification; characterisation of passive dampers; dynamic characterisation of pantograph-overhead line, contact analysis, wear analysis; dynamic tests on high-voltage electric power transmission lines and of related damping devices (passive dynamic absorbers).

Dipartimento di Progettazione dell'Architettura

Laboratorio di Modellistica

Architectural Models Laboratory

Via Durando, 10 – 20158 Milano

Responsabile Scientifico: Massimo Fortis
Responsabile Tecnico: Renato Aiminio
Assistente Tecnico: Francesca Montaldo

Superfici funzionali: 300m²

Impostazione e realizzazione di modelli architettonici alle varie scale, da quella territoriale e urbana a quella edilizia, degli interni e degli oggetti d'uso, tramite un'attenta interpretazione e verifica dei disegni di rilievo o di progetto e dei caratteri materici dell'opera da rappresentare.
In fase di realizzazione si impiegano molteplici tecniche esecutive, materiali e finiture, rapportate ai diversi utilizzi possibili dei modelli, che vanno dalla verifica dei progetti ancora in fase di studio alla presentazione finale delle architetture progettate oppure alla ricostruzione in scala di opere esistenti.
Attività conto terzi rivolta alla costruzione di modelli architettonici di particolare valore scientifico o didattico.

Conception and realization of architectural models at various scales, ranging from urban/regional to single buildings, from interior to objects, by means of a careful interpretation and verification of survey and design drawings and of the material features of the object to be represented.
Several techniques will be adopted in the realization phase, as well as a wide range of materials and finishes which are related to the various possible uses of the models themselves; these can range from the verification of projects which are still in their early study phase to the final presentation of designed buildings to the reconstruction to scale of existing works.
The service, available to outside parties, is aimed at the realization of architectural models with a particular scientific or didactic value.

Laboratorio Analisi e modelli morfologici dell'architettura

Morphological Analisys and Modeling Laboratory

Via Durando, 38/A - 20158 Milano

Responsabili: Vittorio Ugo, Giovanna Massari
Giovanna Battaglia, Maria Cristina Bonora,
Federica B. Cavalleri, Fabio Panigatti, Cristina Pellegatta,
Nadia Sanitario

Superfici funzionali: 35m²

Produzione di modelli grafici (sperimentali e tematici, tradizionali e digitali) che sviluppano le teorie e le tecniche inerenti la disciplina della rappresentazione, nella sua storicità e nei suoi rapporti con le geometrie e con l'estetica; tali modelli sono riferiti a diverse scale di analisi, dal bene culturale mobile ai manufatti architettonici e urbani, fino a oggetti di portata paesistica: essi sono elaborati a partire da materiale documentario e progettuale esistente, oppure sulla base dei dati prodotti da apposite campagne di rilevamento.
Rilievi longimetrico-diretti, topografici e fotogrammetrici per l'archeologia, il restauro, il progetto, la storia: acquisizione e restituzione di dati metrici e qualitativi, elaborazione di modelli digitali per la gestione di dati eterogenei.

The laboratory produces graphic models (which are experimental and related to specific themes, traditional and digital). The models develop the theories and techniques of the represented subject, its history and connections with geometry and aesthetics. Moreover, these models imply a different range of analysis, from the portable object to the building and the urban fabric, to the landscape.
The processing phase starts with the documentation through by survey or/and the elaboration of the existing documents: the nest step consists of the editing of digital models for the integrated management of data. The laboratory produces surveys supported by instruments, photogrammetry and measured drawings for many fields of application: archaeology, history, restoration, planning and design.

Laboratorio di diagnostica per la conservazione e il riuso del costruito

Heritage conservation and re-use diagnostic workshop

Via Durando, 38/A - 20158 Milano

Responsabile: Maurizio Boriani
Susanna Bortolotto, Francesco Augelli

Superfici funzionali: 110m²

Il Laboratorio, si occupa:
- della redazione delle indicazioni per il progetto di conservazione che si esplica attraverso più fasi (studio delle fonti indirette e dirette, della consistenza metrica e materica con l'individuazione delle patologie di degrado e dissesto); tali indagini, restituite graficamente, e attraverso elaborati descrittivi, individuano le procedure per il progetto di conservazione;
- della sperimentazione di metodi per la datazione dell'edilizia storica (archeologia dell'elevato, mensiocronologia, cronotipologia, tecniche murarie);
- dell'elaborazione di sistemi informativi geografici (GIS) per la gestione con database cartografici dei dati conoscitivi per il progetto di conservazione;
- delle prove sperimentali per la caratterizzazione delle patologie del legno e per la stima delle resistenze residue meccaniche del legno mediante prove penetrometriche;
- di restauro archeologico: delle tecniche di rilevamento, diagnosi e conservazione dei manufatti architettonici ed archeologici.

Workshop activities include:
- guidelines for heritage conservation and maintenance procedures (study of direct and indirect sources, analysis of building's geometry and material conditions, evaluation of decay pathology and structural deterioration);
- experimental investigations to date historic fabrics (archeology of building elevation, mensiocronology, dating of building features, masonry construction techniques);
- GIS for the management of cartography database to guide the conservation plans;
- experimental inspection to document existing wood conditions and pathologies and the evaluation of residual wood resistance by penetration resistance tests;
- archeological conservation: analysis and survey schedules; diagnosis and preservation treatments for archeological sites.

Laboratorio Sperimentale BEST

Laboratory BEST

Via Bonardi, 3 – 20133 Milano

Responsabili: Adriana Baglioni, Federico Butera, Sergio Croce, Bruno Daniotti, Stefano Della Torre, Valerio Di Battista, Pietro N. Maggi, Emilio Pizzi, Gianni Scudo, Giulio Solaini, Ettore Zambelli.

Giuliano Dall'Ò, Enrico De Angelis, Simone Ferrari, Maria Fianchini, Carlotta Fontana, Paolo Gasparoli, Marco Imperadori, Ilaria Oberti, Francesca Plantamura, Tiziana Poli, Alessandro Rogora, Maria Grazia Rejna, Paolo Talso

Superfici funzionali: 250 m^2 suddivisi in varie sedi (anche presso il Polo Regionale di Lecco), in via di concentrazione

Diagnostica e controllo in opera - Valutazioni diagnostiche del degrado fisico degli edifici esistenti, antichi e moderni, mediante analisi in luogo; valutazioni prestazionali degli organismi edilizi esistenti. Supporto alla progettazione di interventi di risanamento e recupero, supporto alla programmazione della manutenzione. *Durabilità* - Prove di prestazioni ambientali e tecnologiche, analisi di supporto per l'interpretazione diagnostica di patologie edilizie. *Luce* - Misure di caratterizzazione e di analisi del comportamento di materiali e componenti, misure del comportamento dei componenti messi a sistema (verifica delle condizioni luminose in un ambiente costruito). Applicazioni metrologiche per l'illuminotecnica, definizione fotometrica di materiali e sorgenti luminose, simulazione e valutazione sul campo di sistemi di illuminazione, caratterizzazione fotometrica e colorimetrica di opere d'arte. *Controllo ambientale / Sostenibilità energetica* - Valutazione prestazionale di componenti e sistemi avanzati alle diverse scale dell'ambiente costruito. Sviluppo di strumenti di controllo della qualità e del comfort abitativo in fase di progetto e di utilizzo. Valutazione del comfort termo-igrometrico negli spazi di transizione e negli spazi microurban. Il Laboratorio Sperimentale BEST collabora regolarmente con la sezione *Gino Bozza* dell'Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Diagnostics and on site tests - Diagnostic evaluation of buildings' physical deterioration: survey and on site assessment; performance assessment evaluation of existant buildings; support to recovery projects; support to maintenance planning. *Durability* - Tests for environmental and technologic performance, analysis for building pathology interpretation. *Light* - Measures of light performance in laboratory and in buildings. Devices for light-technology, photometric definition of materials and light sources, simulation and on site evaluation of light systems, photometric and colorimetric analisys of artistic objects. *Environmental control /Energetic sustainability* - Performance evaluation of advanced systems and components; development of control instruments for quality and comfort in buildings; evaluation of thermoigrometric comfort in micro-urban spaces.
Laboratory BEST cohoperates with the *Gino Bozza* section of Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali of CNR (National Council for Researches).

Roberto Bugini
Chiara Colombo
Marco Realini
Antonio Sansonetti
Lucia Toniolo

La ricerca CNR per la conservazione del patrimonio culturale al Politecnico: dal Centro Gino Bozza alla sezione di Milano dell'ICVBC

The research of CNR in the field of conservation of cultural heritage at Politecnico: from the research Centre Gino Bozza to the Milan section of the ICVCH

L' Istituto per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali (CNR-ICVBC) nasce nel 2001 dalla unione di tre Centri di Ricerca del Consiglio Nazionale delle Ricerche distribuiti sul territorio nazionale: Milano, Firenze e Roma [1]. La Sezione di Milano Gino Bozza, con sede presso il Dipartimento di Energetica, deriva dal precedente Centro Gino Bozza per lo studio delle cause di deperimento e dei metodi di conservazione delle opere d'arte. Il Centro ha operato nel settore della conservazione dei Beni Culturali fin dal 1970.
Alla fine degli anni '60, infatti, il problema della salvaguardia del patrimonio storico-artistico cominciò a porsi in modo pressante in seguito ai gravissimi danni arrecati dalle disastrose alluvioni di Firenze e di Venezia del novembre 1966.
Fino a quel momento la pratica del restauro era avvenuta essenzialmente attraverso un approccio artigianale, e le competenze nel settore si tramandavano tra maestri restauratori secondo una pratica di bottega che si era consolidata già nel XIX secolo.
Con la fondazione dell'Istituto Centrale del Restauro venne riconosciuta per la prima volta l'importanza di un approccio più completo, che tenesse conto anche dell'apporto delle discipline

The Istituto per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali (CNR-ICVCH) is born in 2001 from the union of the three preceding research Centres in Milan, Florence and Rome.
The section of Milan Gino Bozza located in the Department of Energetic, derives from the Centro Gino Bozza per lo studio delle cause di deperimento e dei metodi di conservazione delle opere d'arte. The Centre operated in the field of conservation since 1970. At the end of the '60s, the problem of safeguard of the cultural heritage properties began to be in evidence following the terrible flood that severely damaged Florence and Venice in 1966.
Till that date the restoration practice had had an artisan approach and the knowledge was passed orally through the competence of skilled workers and jealously guarded. The foundation in Italy of the Istituto Centrale per il Restauro marked the beginning of a new and more complete approach that includes the scientific investigation, specifically aimed to the conservation of works of art, in the restoration practice. Among the research Institutions, the CNR had the merit of devoting resources to develop competences in this specific field, creating, as mentioned above, the three Centres in Milan, Florence and Rome. Their role was to study and apply scientific methods to the investigation of art surfaces and to set up new methodologies for the conservation, starting from basic knowledge in chemistry, physics, biology, geology and engineering. Since that time the Centre Gino Bozza began to acquire important research and yard experiences, following the restorers and the conservators in different conservation works.
The young *science of conservation* was applied to the territory on monuments and sites and particularly to the architectural heritage, where complex problems of conservation had layered during the centuries, deriving from the environmental conditions, the differences of materials, the manufacturing techniques and, finally, the restoration technologies applied over time. After the '60s, rapid modifications of this objective situation occurred, mainly due to the pollution phenomena and to a new and wide concept of fruition. These very complex and multidisciplinary problems require a scientific and rigorous approach, specifically tailored to the understanding of the need of valuable artefacts.
It is therefore clear that the knowledge of skilled restorers should be coupled and guided with instrumental techniques. Such techniques, origina-

tecniche e scientifiche, finalizzate alla conoscenza e alla conservazione delle opere d'arte. Tra gli Enti nazionali preposti alla ricerca scientifica, il CNR ebbe il merito di intervenire tra i primi a costruire specifiche competenze nel campo della conservazione, istituendo, come sopra ricordato, tre Centri appositi a Milano, Firenze e Roma. Lo scopo dei Centri di ricerca era di mettere a punto apposite metodologie di indagini conoscitive e di intervento sulle superfici e sulle strutture, partendo da conoscenze di base di chimica, fisica, biologia, geologia e ingegneria.
A partire da quegli anni il Centro Gino Bozza ha cominciato ad acquisire una serie di esperienze di ricerca e di cantiere affiancando gli Organi di tutela ed i restauratori negli interventi conservativi.
La giovane Scienza dei Beni Culturali si applicò nel territorio dove, sulle singole opere con particolare riferimento ai manufatti architettonici, si erano stratificate nei secoli problematiche estremamente complesse, derivanti dalle differenti condizioni ambientali, dai numerosissimi materiali utilizzati, dalle diverse tecniche applicate e dal succedersi di interventi di restauro.
A queste situazioni oggettive, si sono aggiunte, dagli anni '60 in poi, una serie di modificazioni repentine dovute a problemi di inquinamento ambientale e ad una nuova e più ampia concezione della fruizione, determinando, di conseguenza, nuove e più avanzate esigenze di valorizzazione.
Problemi di tale complessità devono necessariamente essere affrontati in modo rigoroso e scientifico, mirato alla comprensione delle specifiche problematiche relative ai manufatti di valore storico-artistico. È perciò chiaro come l'occhio del progettista e dell'operatore, per quanto esperto esso sia, non soddisfi a pieno le esigenze di conoscenza delle superfici e debba essere affiancato da tecniche di indagine strumentali. Tali tecniche, mutuate dai più diversi campi disciplinari ed applicativi, sono state nel tempo adattate agli scopi specifici del settore che riguardano, ad esempio, la possibilità di indagare le superfici con metodi microinvasivi e non distruttivi, da utilizzare direttamente in situ.
Le conoscenze acquisite nella fase diagnostica diventano così una base imprescindibile per progettare l'intervento di conservazione che assume sempre più il significato di parte di un processo articolato, che va dalla conoscenza alla fruizione, alla gestione economica e non si limita ad essere un intervento straordinario isolato.

1.
Duomo di Milano. Intervento conservativo attualmente in corso (2004); parte terminale del ponteggio intorno ad una guglia
Cathedral of Milan. Conservation work in progress (2004); final part of the scaffold around a spire

ting from different scientific fields, have been adjusted to fit the specific task of the application to works of art, and, when possible, they have been transformed in non invasive, not-destructive and portable equipment. The knowledge acquired during the diagnostic campaign is a base that cannot be disregarded to plan a correct conservation work: it is a part of a complex process that goes from the knowledge of surfaces to the problem of conservation, enjoyment and management of works of art. The scientific investigation consists in a first phase of study of the materials and of their decay phenomena, in the knowledge of causes and mechanisms of degradation, and in the assessment of the effectiveness of restoration materials and methodologies, which are continuously changing and enhancing.
In this situation of scientific development the Centre Gino Bozza played a role of diagnostic investigation and control, taking into account that the direct examination of phenomena is the starting point of a serious experimental research. The CNR researchers, thus, have gained a great experience on different materials and substrates, manufacturing techniques and conservation works.

2.
Duomo di Milano. Forme di degrado di una scultura della facciata in marmo di Candoglia
Cathedral of Milan. The complex degradation of Candoglia marble in a sculpture of the façade

Tale programma si struttura quindi in una prima fase di conoscenza dei materiali presenti, in un successivo studio delle cause e meccanismi di degrado in atto, fino alla verifica delle fasi di intervento vero e proprio che adottano sistemi, metodologie e prodotti in continua evoluzione tecnologica.
In questo scenario di sviluppo scientifico il Centro Gino Bozza ha ricoperto un ruolo di indagine, di sperimentazione e di verifica, da più parti riconosciutogli, rifacendosi al fondamentale concetto che l'osservazione di un fenomeno è il punto di partenza della ricerca sperimentale. I ricercatori del CNR, venendo a contatto diretto con le opere d'arte, hanno potuto comprendere le problematiche conservative che interessano il patrimonio culturale, acquisendo una vasta esperienza su opere differenti per materiali, tecnologie di fabbricazione e tecniche conservative.
L'esperienza acquisita è stata riversata nell'attività della Commissione Normal (Normativa Materiali Lapidei) in collaborazione con l'Istituto Centrale per il Restauro di Roma.
Le oltre 40 Raccomandazioni pubblicate in vent'anni di attività dei gruppi di lavoro hanno definito le linee guida per le procedure diagnostiche e di

In collaboration with the Istituto Centrale per il Restauro of Rome the CNR researchers gave origin to the Normal Commission (Stone Materials Protocols in the field of Cultural Heritage) and more than 40 Recommendations were published since 1980; thanks to the activity of the working groups the guidelines for procedures of diagnoisis and intervention were defined. In recent times the Commission joined the UNI board (Ente italiano per l' Unificazione) constituting the UNI-Normal Cultural Heritage working group, having Dr. Giovanna Alessandrini as president, formerly director of the Centre Gino Bozza. Great and increasing importance have gained in recent times the research on the evaluation methods for efficacy and harmfulness of surface conservation treatments (cleaning, integration, consolidation and protection) both by means of laboratory simulations and in situ measurements. The Institute ICVCH has got, up to date, a wide and significant laboratory equipment. The microscopy lab of the section of Milan (VIS-UV optical microscopy, low vacuum scanning electron microscopy SEM/EDS, μ-FTIR micro-spectroscopy) is a reference lab for the analysis in the conservation field.

3.
Duomo di Milano. Erosione per corrosione del marmo di Candoglia in una scultura delle guglie
Cathedral of Milan. Corrosion of Candoglia marble in a sculpture of a spire

4.
Duomo di Milano.
Microfratture e bio-deterioramento del marmo di Candoglia di una mano in una scultura della facciata.
Cathedral of Milan.
Microfractures and biodeterioration of Candoglia marble in the right hand of a façade sculpture

intervento, e costituiscono a tutt'oggi il riferimento nella pratica di progetto e di cantiere. Nel frattempo la Commissione è entrata a far parte dell'UNI, costituendo la Commissione UNI-Normal Beni Culturali, di cui è attualmente presidente la Dott.ssa Giovanna Alessandrini, già direttore del Centro Gino Bozza.
Un'importanza sempre crescente hanno assunto le valutazioni, in termini di efficacia e di nocività, delle diverse procedure di intervento (metodi di pulitura, integrazione, consolidamento e protezione superficiale), sia attraverso studi e simulazioni di laboratorio che applicazioni in numerosi cantieri-pilota.
L'Istituto ICVBC dispone oggi di un'ampia dotazione strumentale, ed il laboratorio di microscopia (ottica VIS e UV, elettronica a scansione in basso vuoto SEM-EDS, micro-spettroscopia FTIR) della Sezione di Milano rappresenta sicuramente un punto di riferimento su scala internazionale.
Nella realtà universitaria in cui la struttura CNR è inserita, i ricercatori hanno svolto negli anni una costante attività di formazione, soprattutto attraverso la stesura di tesi di Laurea e di tesi di Dottorato di Ricerca. Questa attività, che nei primi anni veniva vista con un certo scetticismo, ha avuto il merito di avviare linee di ricerca specifiche sulla conservazione dei Beni Culturali presso numerosi Dipartimenti universitari.
Nella trentennale esperienza del Centro Gino Bozza, interamente riversata nell'attuale ICVBC, gli Organi ministeriali preposti alla tutela dei Beni Culturali e gli Enti locali, trovano un referente che vanta una esperienza completa da poter utilizzare nella soluzione di problemi conservativi e per la scelta delle procedure più idonee per la salvaguardia, la conservazione preventiva e la valorizzazione.

In the university framework in which the CNR structure is operating, a constant education activity has been carried out through the development of degree or PhD thesis. Thanks to this activity, which at the beginning was welcomed with a certain scepticism, some very important research topics in the field of conservation science were introduced in different university Departments.
The safeguard organizations (Cultural Heritage Ministry boards, Local authorities, etc.) have, in the 30 years experience of the CNR research centres, a reference point to consult when facing the complex problems of conservation, of choosing the appropriate restoration or preventive conservation strategies.

Mauro Cucarzi
Patrizia Zolese

La Fondazione Lerici: Presentazione e Storia

The Lerici Foundation: Presentation and History

La Fondazione Ingegnere Carlo Maurilio Lerici è stata la prima istituzione in Italia ad introdurre metodi diagnostici non invasivi per la localizzazione e il riconoscimento di strutture archeologiche sepolte. La Fondazione è un Istituto posto sotto l'Alta Vigilanza del Ministero per i Beni e le Attività Culturali e, per statuto, il Rettore del Politecnico di Milano ne è il Presidente.
L'Istituto è stato fondato e legalmente riconosciuto, presso il Politecnico di Milano nel 1947 (D.C.P.S. n° 349, del 5 marzo 1947), per iniziativa dell'Ingegenre Carlo Maurilio Lerici, che convertì il Centro di Prospezioni Geominerarie in *Istituto di Geofisica Applicata*, uno dei più avanzati centri di ricerche minerarie, di idrocarburi, acque e gas dell'Italia del dopoguerra.
Convinto assertore dello stretto legame tra scienza e umanistica, l'Ingegnere Lerici promosse, a partire dal 1955, indagini integrate nelle necropoli etrusche di Tarquinia, Cerveteri e Vulci, i cui risultati segnarono un nuovo capitolo nella storia delle scienze applicate all'archeologia. Venne così costituita, la sezione *Prospezioni Archeologiche* intitolata al suo fondatore, per lo sviluppo, la sperimentazione e l'applicazione sistematica di discipline geofisiche, geologiche e di telerilevamento indirizzate all'indagine archeologica. Le iniziative promosse dalla Fondazione Lerici, sollecitarono fin dagli inizi degli anni '60, l'interesse dei più prestigiosi centri di ricerca specializzati in prospezioni archeologiche: Università di Pennsylvania (USA), Laboratorio di

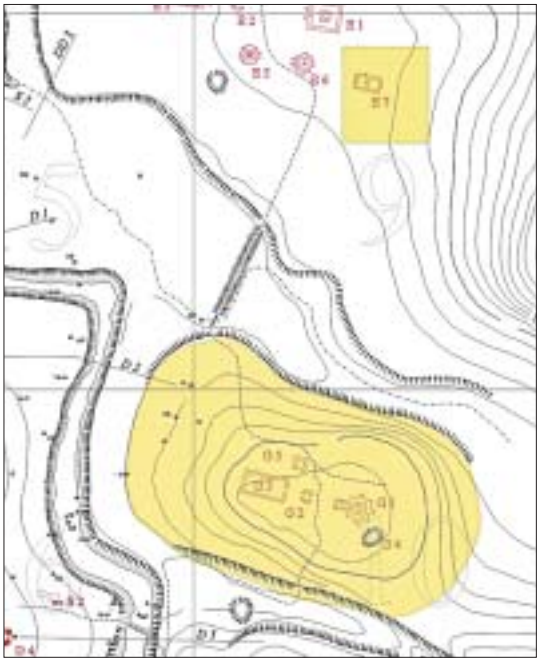
The Carlo Maurilio Lerici Foundation was the first institution in Italy to introduce non-evasive diagnostic methods for the location and identification of buried archaeological structures.
The Foundation is an Institute enjoying the patronage of the Ministry of Cultural Heritage, according to whose articles of association the Rector of the Politecnico di Milano is President.
The Institute was founded and legally recognized, at the Politecnico di Milano, in 1947 (D.C.P.S. No. 49 of 5th March 1947) on the initiative of the engineer Carlo Maurilio Lerici, who changed the name of the Centre for Geomineral Exploration into *The Institute of Applied Geophysics*, one of the most advanced mineral, hydrocarbon, water and gas research centres in post-war Italy.
A prominent supporter of the thesis that a close link existed between science and humanistics, Carlo Lerici, starting in 1955, promoted integrated investigations of the Etruscan burial sites at Tarquinia, Cerveteri, and Vulci, the results of which marked a new chapter in the history of science applied to archaeology. The result was the founding of a section entitled *Archaeological Exploration*, bearing the name of its founder and dedicated to development and experimental work and the systematic application of geophysics, geology, and remote-control archaeological research. From the nineteen-sixties on, the Lerici foundation succeeded in arousing the interest of some of the most prestigious research centres specializing in the field: the University of Pennsylvania (USA), the Oxford Archaeology Laboratory (Great Britain), the Centre for Geophysical Research of the CNRS at Garchy (France), and the Rheinisches Landesmuseum in Bonn (Germany), an interest that was formalized with the signature of permanent joint-research and data-exchange agreements.
As from 1970, the Archaeological Exploration Section had its headquarters in Rome.
Apart from intensive prospecting activities, more than 500 campaigns were completed in Italy and other countries that made it possible to acquire a wealth of experience and uniquely specialized records. The Lerici foundation promoted the publication of scientific journals such as *Rivista di Geofisica Applicata*, *Prospezioni Archeologiche*, *Prospezioni Archeologiche- Quaderni* , and volumes on individual subjects.
For more than 30 years, the Lerici Foundation has been a milestone for teaching purposes both

Archeologia di Oxford (Inghilterra), Centro di ricerche geofisiche del CNRS, Garchy (Francia) ed il Rheinisches Landesmuseum di Bonn (Germania), interesse formalizzato con la firma di accordi permanenti di collaborazione e scambio di dati.
Dal 1970, la sezione *Prospezioni Archeologiche ha* sede a Roma. Oltre ad una intensa attività di prospezioni, più di 500 campagne portate a termine in Italia e all'Estero, che ha permesso di acquisire un patrimonio di esperienze ed un archivio specializzato unico al mondo, la Fondazione Lerici ha promosso la pubblicazione di riviste scientifiche quali la *Rivista di Geofisica Applicata*, *Prospezioni Archeologiche*, *Prospezioni Archeologiche - Quaderni* e di volumi monografici. Per oltre 30 anni, la Fondazione Lerici è stata un punto di riferimento didattico nazionale ed internazionale, con l'attivazione di corsi di formazione sulle tecniche di indagine non invasive, seguiti da archeologi, funzionari dei Beni Culturali e geofisici, contribuendo in maniera significativa alla formazione di una *mentalità* in materia di politiche territoriali, per la tutela del patrimonio nazionale. Il costante contributo editoriale e didattico, l'organizzazione e la partecipazione a Congressi sulla materia, ha da sempre contraddistinto l'impegno della Fondazione a diffondere i risultati delle ricerche intraprese per dare modo, sia alla comunità scientifica sia ai committenti, di verificare lo stato dell'arte dell'attività professionale, i presupposti e le ragioni delle scelte metodologiche operate durante la ricerca, e di fornire una valida documentazione per coloro che operano negli stessi ambiti. Negli anni '80 la convergenza di due fattori ha contribuito notevolmente all'ampliamento delle attività e degli interessi della Fondazione Lerici: l'avanzamento delle risorse tecnologiche (in campo strumentale ed informatico) e una cresciuta consapevolezza da parte degli operatori pubblici e privati, dell'importanza della conoscenza preventiva del territorio per una sua corretta pianificazione. Pur continuando ad operare nei suoi tradizionali ambiti di ricerca, telerilevamento, geofisica, geoarcheologia, la Fondazione Lerici ha esteso la propria attività anche verso altri settori quali l'esplorazione del sottosuolo in contesto urbano, le verifiche ed i controlli non distruttivi su strutture architettoniche, in coordinamento con la Facoltà di Architettura e di Ingegneria del Politecnico di Milano, gli studi per la riabilitazione di aree archeologiche e di centri storici, la gestione dati territoriali attraverso l'uso di GIS.

1.
Vista della parte inferiore del sito di Vat Phu, con i quadrangoli nord (sinistra) e sud (destra)
Lower part of Vat Phu site with north (left) and south (right) quadrangles

nationwide and internationally, with the setting-up of training courses on non-invasive research techniques, attended by archaeologists, government officials concerned with Cultural Heritage, and geophysicists, thus making a significant contribution to the cultivation of a *mentality* focused on regional policies aimed at safeguarding the national heritage.
Constant contributions to publications and teaching material, organization, and participation in conferences on the subject have always been a hallmark of the Foundation's dedication to the propagation of the results achieved by the research undertaken, thus enabling scientists and entrepreneurs to ascertain the state of the art in respect of professional activities, the basis of and reasons for methodological decisions taken in the course of research, and providing valuable documentation for all those operating in the same area.
In the nineteen eighties, a combination of two factors made a significant contribution to the expansion of the activities and interests of the Lerici Foundation: advances in technological research (in the area of instrumentation and information technology) and growing awareness of the part of both

2.
Mappa delle aree di My Son interessate dal progetto Politecnico-Fondazione Lerici
Map of My Son areas interested by the project Politecnico-Fondazione Lerici



3.
Kalan G1 per il quale è previsto il progetto di restauro
Kalan G1 for which a restoration project has been prepared by Politecnico

La Fondazione è composta da uno staff permanente costituito da geofisici, geologi ed archeologi, affiancati da tecnici per il rilevamento dei dati (topografi, tecnici sondatori). Il coordinamento dell'Istituto è affidato al Direttore e al Presidente della Fondazione, che, per statuto, è il Rettore del Politecnico di Milano. Grazie alla sua attività di servizio e di ricerca, la Fondazione è in grado di avvalersi della collaborazione esterna di specialisti di diverse discipline scientifiche (informatica, geofisica, geologia, ingegneria strutturale, ingegneria idraulica e geotecnica) ed archeologiche, provenienti da qualificati Istituti universitari o istituzioni museali.
La Fondazione Lerici opera in costante contatto con Istituti di ricerca italiani ed esteri e con le strut-

government and private operators of the importance of preventive knowledge in the interests of correct territorial planning.
While continuing to operate in its traditional areas of research, remote detection, geophysics, and geoarchaeology, the Lerici Foundation also extended its activities in the direction of other fields, such as exploration of the sub-soil in an urban context, non-destructive checks and controls on architectural structures, in co-operation with the Faculty of Architecture and Engineering of the Politecnico di Milano, studies on the rehabilitation of archaeological areas and historical sites, and the processing of territorial data using GIS.
The Foundation consists of a permanent staff of geophysicists, geologists, and archaeologists, assisted by technicians for the recording of data (topographers, technicians, and sound engineers).
Co-ordination of the Institute is in the hands of the Director and the President of the Foundation, who, in accordance with the articles of association, is the Rector of the Politecnico di Milano. Due to the services it organizes and its research activities, the Foundation is in a position to avail itself of the assistance of external specialists in various scienti-

4.
Edificio E7 per il quale è previsto il progetto di restauro
Building E7 for which a restoration project has been prepared by Politecnico

ture preposte alla tutela del bene culturale e del territorio. Negli ultimi anni è stato intensificato il rapporto di collaborazione con il Politecnico di Milano, in particolare con i Dipartimenti di Ingegneria Strutturale (Professori Giulio Ballio, Luigia Binda, Giulia Baronio, Annamaria Cividini, Giancarlo Gioda) e di Ingegneria Idraulica, Ambientale e del Rilevamento (Prof. Silvio Franzetti). Fra i principali progetti nell'ambito di tale collaborazione sono il progetto *Zoning and Management Plan for the Vat-Phou - Champasak Archaeological Site (Laos Meridionale)* (Giulio Ballio, Annamaria Cividini, Giancarlo Gioda) [Figura 1], e il progetto *Investigation, Zoning and Management of My Son monument and archaeological site*, (*Indagini geoarcheologiche e strutturali, per la riabilitazione del sito monumentale di My Son (Vietnam)*) (Professori Giulio Ballio, Luigia Binda, Giulia Baronio, Silvio Franzetti) [Figura 2].
Nelle Figure 3 e 4 sono riportate le due costruzioni sulle quali la Fondazione Lerici sta lavorando ad un progetto di indagine archeologica e di restauro archeologico (Responsabile progetto archeologico: Patrizia Zolese, Responsabile progetto architettonico: Prof. Luigia Binda).

fic disciplines (information technology, geophysics, geology, structural engineering, hydraulic and geotechnical engineering) and in archaeology, supplied by specialized university departments or museums. The Lerici Foundation is in constant touch with research institutes in Italy and other countries, and departments concerned with the safeguarding of cultural and land assets.
In recent years, co-operation with the Politecnico di Milano has intensified, especially with the departments of Structural Engineering (Prof.s Giulio Ballio, Luigia Binda, Giulia Baronio, Annamaria Cividini, Giancarlo Gioda) and with Hydraulic, Environmental, and Survey Engineering (Prof. Silvio Franzetti).
The main projects connected with such co-operation are the *Zoning and Management Plan for the Vat-Phou - Champasak Archaeological Site Project (Southern Laos)* (Prof.s Giulio Ballio, Annamaria Cividini, Giancarlo Gioda) [Figure 1], and the *Investigation, Zoning and Management of the My Son Monument and Archaeological Site* Project, (*Geo-archaeological and Structural Research for the Rehabilitation of the My Son (Vietnam) Monumental Site*) (Prof.s Giulio Ballio, Luigia Binda, Giulia Baronio, Silvio Franzetti) [Figure 2].
Figures 3 and 4 show the two structures on which the Lerici Foundation is working and an archaeological research and restoration project (Patrizia Zolese is in charge of the archaeological project, and Prof. Luigia Binda in charge of the architectural project).

Autori - Authors

Comitato Scientifico del presente numero della rivista:
Centro per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali
Coordinatore: Prof. Maurizio Boriani

Maurizio Acito
Professore a contratto
Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Politecnico di Milano

Cristiana Achille
Ricercatore, Assegnista di Ricerca e Professore a Contratto
Laboratorio di rilievo e cartografia numerica, GIS
DIIAR, Sezione Rilevamento - Politecnico di Milano

Francesco Amigoni
Ricercatore
SSD Sistemi di Elaborazione delle Informazioni
Dipartimento di Elettronica e Informazione – Politecnico di Milano

Francesco Augelli
Professore a Contratto
SSD Restauro
Dipartimento di Progettazione dell'Architettura – Politecnico di Milano

Giulia Baronio
Professore Associato
SSD Restauro
Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Politecnico di Milano

Luca Bertolini
Professore Associato
SSD Scienza e Tecnologia dei Materiali
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" - Politecnico di Milano

Luigia Binda
Professore Ordinario
SSD Restauro
Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Politecnico di Milano

Fabio Maria Bolzoni
Professore Associato
SSD Scienza e Tecnologia dei Materiali
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" - Politecnico di Milano

Maurizio Boriani
Presidente Comitato Scientifico Centro Valorizzazione Beni Culturali
Professore Ordinario
SSD Restauro
Dipartimento di Progettazione dell'Architettura – Politecnico di Milano

Susanna Bortolotto
Responsabile Laboratorio di diagnostica per la conservazione e riuso del costruito
D. P. A. – Politecnico di Milano

Carlo Enrico Bottani
Professore Ordinario
SSD Fisica della Materia
Direttore Dipartimento di Ingegneria Nucleare "CESNEF" - Politecnico di Milano

Raffaella Brumana
Professore Associato
SSD Topografia e Cartografia
DIIAR, Sezione Rilevamento - Politecnico di Milano

Roberto Bugini
Ricercatore
Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali CNR, Sezione "Gino Bozza"
Dipartimento di Energetica - Politecnico di Milano

Christian Campanella
Professore Associato
SSD Restauro
Dipartimento di Progettazione dell'Architettura - Politecnico di Milano

Cesare Cardani
Ricercatore
SSD Costruzioni e Strutture Aerospaziali
Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale - Politecnico di Milano

Alessandra Cesana
Ricercatore
SSD Misure e Strumentazione Nucleari
Dipartimento di Ingegneria Nucleare "CESNEF" - Politecnico di Milano

Paolo Ciuccarelli
Ricercatore
SSD Disegno Industriale
INDACO - Politecnico di Milano

Chiara Colombo
Ricercatore
Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali, CNR, Sezione "Gino Bozza" - Dipartimento di Energetica Politecnico di Milano

Daniela Comelli
Ricercatore
SSD Fisica Sperimentale
Dipartimento di Fisica – Politecnico di Milano

Roberto Corradi
Ricercatore
SSD Meccanica Applicata alle Macchine
Dipartimento di Meccanica - Politecnico di Milano

Corrado Maria Crisciani
Professore Incaricato
SSD Fotografia
INDACO - Politecnico di Milano

Rinaldo Cubeddu
Professore Ordinario
SSD Fisica sperimentale
Dipartimento di Fisica – Politecnico di Milano

Mauro Cucarzi
Direttore Fondazione "Ing. Carlo Maurilio Lerici" – Politecnico di Milano

Stefano Della Torre
Professore Straordinario
Restauro architettonico
BEST - Politecnico di Milano

Valerio Di Battista
Professore Ordinario
SSD Tecnologia dell'Architettura
BEST - Politecnico di Milano

Nicoletta Di Blas
Professore a Contratto
SSD Teoria della Comunicazione
Dipartimento di Elettronica e Informazione – Politecnico di Milano

Alessandro Facchini
Dipartimento di Ingegneria Nucleare "CESNEF" - Politecnico di Milano

Francesco Fassi
Assegnista di Ricerca
Laboratorio di rilievo e cartografia numerica, GIS
DIIAR, Sezione Rilevamento - Politecnico di Milano

Carlo Ettore Fiorini
Professore Associato
SSDE Elettronica, Dipartimento di Elettronica e Informazione – Politecnico di Milano

Alberto Franchi
Professore Ordinario
SSD Scienza delle Costruzioni
Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Politecnico di Milano

Luigi Fregonese
Ricercatore
Laboratorio di rilievo e cartografia numerica, GIS
DIIAR, Sezione Rilevamento - Politecnico di Milano

Marco Gaiani
Professore Ordinario
SSD Disegno
INDACO - Politecnico di Milano

Paolo Gasparoli
Ricercatore
SSD Tecnologia dell'Architettura
BEST - Politecnico di Milano

Matteo Maria Gastaldi
Ricercatore
SSD Scienza e Tecnologia dei Materiali
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" - Politecnico di Milano

Alberto Grimoldi
Professore Straordinario
SSD Restauro
Dipartimento di Progettazione dell'Architettura - Politecnico di Milano

Chiara Guazzoni
Ricercatore
SSD Elettronica
Dipartimento di Elettronica e Informazione – Politecnico di Milano

Perla Innocenti
Assegnista di Ricerca
INDACO - Politecnico di Milano

Luciano Lazzari
Professore Associato
SSD Scienza e Tecnologia dei Materiali
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" - Politecnico di Milano

Antonio Longoni
Professore Ordinario
SSD Elettronica
Dipartimento di Elettronica e Informazione – Politecnico di Milano

Erica Mannucci
Dottoranda
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" - Politecnico di Milano

Carlo Mapelli
Ricercatore
SSD Metallurgia
Dipartimento di Meccanica - Politecnico di Milano

Antonio Migliacci
Professore Ordinario
SSD Tecnica delle Costruzioni
Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Politecnico di Milano

Giulio Mirabella Roberti
Professore Associato
SSD Restauro
Dipartimento Storia dell'Architettura – Università IUAV di Venezia

Carlo Monti
Professore Ordinario
SSD Topografia e Cartografia
DIIAR, Sezione Rilevamento - Politecnico di Milano

Giada Monti
Assegnista di Ricerca
Laboratorio di rilievo e cartografia numerica, GIS
DIIAR, Sezione Rilevamento - Politecnico di Milano

Riccardo Negrotti
Tecnico di Laboratorio
Dipartimento di Energetica - Politecnico di Milano

Walter Nicodemi
Professore Ordinario
SSD Metallurgia
Dipartimento di Meccanica - Politecnico di Milano

Paolo Paolini
Professore Ordinario
SSD Sistemi di Elaborazione delle Informazioni
Dipartimento di Elettronica e Informazione – Politecnico di Milano

Pietro Pedeferri
Professore Ordinario
SSD Scienza e Tecnologia dei Materiali
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" - Politecnico di Milano

Caterina Poggi
Dottoranda
Dipartimento di Elettronica e Informazione – Politecnico di Milano

Federico Prandi
Assegnista di Ricerca
Laboratorio di rilievo e cartografia numerica, GIS
DIIAR, Sezione Rilevamento - Politecnico di Milano

Marco Realini
Ricercatore
Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali
CNR, Sezione "Gino Bozza" - Dipartimento di Energetica - Politecnico di Milano

Antonella Elide Saisi
Ricercatore
SSD Restauro
Dipartimento di Ingegneria Strutturale – Politecnico di Milano

Antonio Sansonetti
Ricercatore
Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali
CNR, Sezione "Gino Bozza" - Dipartimento di Energetica - Politecnico di Milano

Carlo Savi
Tecnico Laboratorio di rilievo e cartografia numerica, GIS
DIIAR, Sezione Rilevamento - Politecnico di Milano

Viola Schiaffonati
Dottoranda di Ricerca
Filosofia della Scienza, Università degli Studi di Milano
Dipartimento di Elettronica e Informazione – Politecnico di Milano

Cristina Tedeschi
Assegnista di Ricerca
Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Politecnico di Milano

Mario Terrani
Professore Associato
SSD Fisica Nucleare e Subnucleare
Dipartimento di Ingegneria Nucleare "CESNEF" - Politecnico di Milano

Claudia Tiraboschi
Tecnico di Laboratorio
Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Politecnico di Milano

Roberta Tongini Folli
Dottorata in Conservazione dei Beni Architettonici
Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Politecnico di Milano

Lucia Toniolo
Primo Ricercatore Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali CNR, Sezione "Gino Bozza" - Politecnico di Milano

Gianluca Valentini
Professore Associato
SSD Fisica Sperimentale
Dipartimento di Fisica– Politecnico di Milano

Massimo Valentini
Tecnico di Laboratorio
Dipartimento di Energetica - Politecnico di Milano

Alberto Zasso
Professore Associato
SSD Meccanica Applicata alle Macchine
Dipartimento di Meccanica - Politecnico di Milano

Giuseppe Zerbi
Professore Ordinario
SSD Scienza e Tecnologia dei Materiali
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" - Politecnico di Milano

Patrizia Zolese
Archeologo

A cura di:
Servizio Attività Culturali - Cultural Department
piazza Leonardo da Vinci, 32 - 20133 Milano
e-mail: RedazioneRivista@ceda.polimi.it

Sono stati tradotti a cura di **Traduzioni Tramos s.n.c** gli articoli alle pagine:
Were translated from the Italian Original by **Traduzioni Tramos s.n.c.** of Milano:

pagg. 5 e 7
pagg. 38-49
pagg. 84-89
pagg. 120-127
pagg. 170-173